Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.1-34 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.84603.1417 Open access

Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran

Habib Allah Sadeghi[*a], Afshin Danehkar[*b], Mohammad Jalal Abbasi-Shavazi[c]

[a] *PhD scholar in Demography, Department of Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran .*
[b] *Professor in Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran .*
[c] *Academy Fellow, Vienna Institute of Demography, Austria.*
Professor in Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran .
Honorary Professor, School of Demography, Australian National University, Canberra, Australia.

Received: *25 September 2023* ***Revised:*** *17 November 2023* ***Accepted:*** *9 December 2023*

Abstract

A deeper understanding of environmental vulnerability is essential for crafting effective sustainability strategies. However, data deficiencies and methodological uncertainties often obscure a comprehensive grasp of the underlying issues. This study employs Google Earth Engine (GEE)-coded satellite imagery and the Getis spatial autocorrelation test to examine spatial patterns of environmental vulnerability in 397 Iranian counties from 2011 to 2021, framed within the theoretical lens of vulnerability.

The results of the Getis test reveal heterogeneous distributions and diverse vulnerability patterns across Iranian counties in various dimensions, including air pollution, greenhouse gas emissions, changes in temperature and precipitation, groundwater depletion, biodiversity threats, and soil erosion, particularly in the central, southern, eastern, and northern regions. Emphasizing the role of distinct spatial patterns in terms of "sensitivity" and "exposure," this research suggests that environmental policies in Iran should be tailored to regional spatial disparities and socio-ecological characteristics.

This approach can enhance adaptive capacity and mitigate environmental vulnerability in critical areas. The use of algorithmic techniques for environmental vulnerability indexing, combined with spatial data and population analysis, provides a robust framework for future research. This framework can be applied in national and regional planning to alleviate environmental pressures and improve sustainability.

Keywords: Environmental Vulnerability, Google erarth Engine(GEE) ,Spatial Autocorrolation, Sustainability Strategies, Regional Disparities, Adaptive Capacity.

* .Corresponding authors:
Habib Allah Sadeghi- Email: *habib.sadeghi@ut.ac.ir* Tel:+989165884674
Afshin Danehkar Email: *danehkar@ut.ac.ir* Tel:+989123094861

How to cite this Article: Sadeghi, H A., Danehkar,A., & Abbasi-Shavazi, M J. (2024). Spatial pattern of environmental vulnerability in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(3), 1-34.

ISSN (Online):2383-3076 ISSN (Print):2322-1682 جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۳۴-۱

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.84603.1417 دسترسی آزاد

الگوی فضایی آسیب‌پذیری محیط‌زیست در ایران

حبیب الله صادقی[۱]- دانشجوی دکتری جمعیت شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

افشین دانه کار[۲]- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

محمد جلال عباسی شوازی- الف) عضو آکادمی، موسسه جمعیت شناسی وین، اتریش، ب) استاد گروه جمعیت شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، و ج) استاد مدعو، موسسه مطالعات جمعیتی، دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا، استرالیا.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۷/۳ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۲۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۱۸

چکیده

شناخت سطح خرد آسیب‌پذیری محیط‌زیست از لحاظ فنی و نظری به‌عنوان نقشه راه دقیق در پایداری محیط‌زیست عمل می‌کند. باوجوداین ضعف داده و عدم قطعیت روشی فهم درست مسائل ناشی از آن را مغفول گذاشته است. مقاله پیش‌رو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کدنویسی شده گوگل‌ارث‌انجین (GEE) و روش خودهمبستگی فضایی گتیس در قالب نظریه‌ی «آسیب‌پذیری» به بررسی و تحلیل الگوهای فضایی آسیب‌پذیری محیط‌زیست ۳۹۷ شهرستان ایران طی‌سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ می‌پردازد. نتایج آزمون گتیس نشان دهنده توزیع نابرابر و الگوهای متنوع آسیب‌پذیری شهرستان‌های ایران در ابعاد مختلف ازجمله آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، تغییرات دما و بارش، کاهش آب‌های زیرزمینی، تهدید تنوع زیستی و فرسایش خاک، به‌ویژه در مناطق مرکزی، جنوب، شرق و نوار شمالی خواهد بود. به همین ترتیب، این پژوهش با تأکید بر نقش الگوهای فضایی متفاوت در ابعاد «حساسیت» و «قرار گرفتن در معرض خطر»، پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی در ایران باید با توجه به نابرابری‌های فضایی و متناسب با ویژگی‌های جمعیتی و بوم‌شناختی هر منطقه تنظیم شوند. این رویکرد می‌تواند به بهبود ظرفیت سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری محیط‌زیستی در مناطق بحرانی کمک کند. استفاده از تکنیک‌های الگوریتمی برای شاخص‌سازی آسیب‌پذیری محیط‌زیستی و تلفیق داده‌های فضایی با تحلیل‌های جمعیتی، چارچوبی مؤثر برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌دهد که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای به‌منظور کاهش فشارهای محیطی و بهبود پایداری محیط‌زیستی به کار گرفته شود.

۲. نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۵۸۸۴۶۷۴ Email: *habib.sadeghi@ut.ac.ir*

۲. نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۰۹۴۸۶۱ Email: *danehkar@ut.ac.ir*

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری محیط‌زیستی ، موتور گوگل‌ارث (GEE) ، خودهمبستگی مکانی،راهبردهای پایداری، تفاوت‌های منطقه‌ای، ظرفیت سازگاری.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در حال حاضر به‌عنوان یک تهدید جدی برای جوامع مطرح می‌باشد، ریسک‌های محیط زیستی[1] است که نه‌تنها آرامش و امنیت را از زندگی انسان‌ها دور می‌کند، بلکه موجودیت بشر را نیز تهدید می‌کند (Sadeghi, Azizi & Sadeghi, 2022)؛ بنابراین، با افزایش آگاهی نسبت به قریب‌الوقوع بودن اثرات تغییرات محیط‌زیست بر جمعیت‌های انسانی، برخی از سیاست‌گذاران و اکثر جامعه علمی را برانگیخت تا خواهان اقدام مؤثرتری باشند (Guzmán & de México, 2013). در همین راستا ارزیابی اکوسیستم هزاره سازمان ملل[2] (۲۰۰۵) هشدار داد که «فعالیت‌های انسانی چنان بر عملکرد طبیعی زمین فشار وارد می‌کند که توانایی اکوسیستم‌های سیاره برای حفظ نسل‌های آینده را دیگر نمی‌توان بدیهی تلقی کرد» (Lee & Diop, 2009). چراکه تقاضای انسان در سیاره زمین از عرضه منابع پیشی گرفته و فشار بیش از توان ظرفیت بر اکوسیستم‌ها، کاهش تنوع زیستی در سطح جهانی و همچنین افزایش سطح منواکسید کربن[3] در اتمسفر که خود باعث افزایش دمای جهانی، تغییرات آب‌وهوا و اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌شود، رخ خواهد داد (Guzmán & de México, 2013).

علاوه بر این، همان‌طور که در گزارش معتبر منتشرشده توسط مرکز تاب‌آوری استکهلم[4] منعکس شد، پویایی جمعیت‌ها و استفاده نادرست از منابع مادی، انرژی و زیستی زمین، توسط سیستم اقتصادی جهانی در حال حاضر از مرزهای سیاره‌ای در سه حوزه (تغییر آب‌وهوا، تنوع زیستی و ورودی نیتروژن به بیوسفر) فراتر رفته و حداقل در شش حوزه دیگر شناخته‌شده نیز فراتر خواهد رفت (Rockström et al., 2009). در همین راستا اکوسیستم‌های طبیعی آن‌چنان به‌وسیله تخریب محیط‌زیست تحت تأثیر قرارگرفته که قابلیت لازم برای خود احیائی و سازگاری در آن‌ها به پایین‌ترین حد ممکن رسیده است(Reed, 2008)؛ بنابراین با توجه به موارد فوق تخریب محیط‌زیست به‌عنوان یک مسئله مهم و حیاتی نگرانی‌های جهانی بسیاری را برانگیخته است. بااین‌وجود به دلیل ضعف داده‌های ثبتی و عدم قطعیت در روش‌های سنجش آسیب‌پذیری، امکان ارزیابی یکپارچه محیط‌زیست از رهیافت نظری را دشوار کرده است.

1. Environmental risks
2. Millennium Ecosystem Assessment
3. CO_2
4. Stockholm Resilience Center

در همین راستا و از رهیافت نظری محیط‌زیست می‌توان اشاره کرد یکی از مهم‌ترین دیدگاه‌ها در موردحفاظت از محیط‌زیست، نظریه آسیب‌پذیری است؛ چراکه امکان بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری محیط-زیست در ابعاد حساسیت[1] و قرار گرفتن در معرض خطر[2] را به ورطه تحلیل می‌کشاند. اصطلاح «آسیب‌پذیری[3]» از کلمه لاتین vulnus به معنای «زخم» گرفته شده است. ازاین‌رو آسیب‌پذیری به معنای واقعی کلمه «توانایی زخمی شدن» است (Torabi, Saravani, Sadeghi & Jahanbazian, 2024; Gallopín, 2006). سایر تعاریف عمومی این اصطلاح مشابه هستند، به‌عنوان‌مثال «پتانسیل از دست دادن»(Cutter, 1996) یا «مستعد بودن برای آسیب دیدن»(Adger, 2006) یا «درجه‌ای که یک سیستم احتمالاً به دلیل در معرض خطر بودن، آسیب می‌بیند» (Turner, 2015). آسیب‌پذیری حتی قبل از اینکه کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های بهداشت عمومی، توسعه پایدار و تغییرات آب و هوایی پیدا کند، یکی از مفاهیم اساسی در رشته‌های تحقیقی مرتبط با مخاطرات طبیعی بوده است (Turner, 2015 Adger, 2000; Füssel, 2007).

در ادبیات گسترده آکادمیک، آسیب‌پذیری اصطلاحی است که با انواع پیامدهای خاص مدیریت سوانح و به‌طورکلی با خطرات طبیعی مرتبط است (Alwang, Siegel & Jorgensen, 2001). علاوه بر این، هم جغرافیای انسانی و هم بوم‌شناسی انسانی آسیب‌پذیری را به تغییرات محیطی مرتبط می‌داند (Adger, 2006). این در حالی است که تحقیقات دیگر آسیب‌پذیری را برحسب سطح خطر، ظرفیت بازیابی و پاسخ به آن تعریف می‌کند؛ بنابراین، آسیب‌پذیری علاوه بر معیارهای خطر که با جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در ارتباط است، توانایی مقابله با خطرات و شوک‌های مختلف را نیز توصیف می‌کند (Chambers, 1989; Proag, 2014)؛ بنابراین دو جنبه اساسی در بحث آسیب‌پذیری وجود دارد: نخست، جنبه خارجی که به عناصر ساختاری شامل میزان حساسیت و خطر مواجهه (McCarthy, 2001) و دوم، جنبه داخلی که به توانایی پاسخگویی و مقابله با عوامل تنش‌زا و اقدامات لازم برای غلبه بر آن‌ها اشاره دارد (Bohle, 2001; Chambers, 1989).

همان‌طور که ادگر (Adger, 2006) اشاره دارد، قرار گرفتن در معرض عوامل تنش‌زا، حساسیت و ظرفیت سازشی، سه عنصر حیاتی آسیب‌پذیری هستند. سگنوئن و همکاران (Segnoen et al, 2021) نیز ضمن تأکید بر ویژگی‌های فوق اشاره می‌کنند که آسیب‌پذیری توسط عوامل یا فرآیندهای اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی و محیطی تعیین می‌شود که حساسیت یک سیستم را نسبت به تأثیر مخاطرات افزایش می‌دهد. قرارگرفتن در معرض خطر و حساسیت زمانی که با هم مشاهده می‌شوند، تصویری از تأثیرات بالقوه محیط‌زیست بر یک ویژگی خاص ایجاد می‌کنند. این اثرات بالقوه سناریوهای نظری هستند که ظرفیت سازشی را در نظر نمی‌گیرند؛ بنابراین باید به‌عنوان مجزا از رتبه‌بندی آسیب‌پذیری کلی در نظر گرفته شوند. هنگامی‌که این سه مؤلفه با هم

1. Sensitivity
2. Exposure
3. Vulnerability

در نظر گرفته می‌شوند، می‌توانند برای ایجاد یک برآورد کلی از آسیب‌پذیری استفاده شوند. در واقع، این مفهوم ترکیبی آسیب‌پذیری، ابزار تحلیلی قدرتمندی را برای بررسی و سنجش جدی‌تر آسیب‌پذیری فراهم می‌کند. توصیف حالت‌های حساسیت محیط‌زیست به آسیب، شکنندگی، خطر و ظرفیت سازشی در سیستم‌های مختلف از سوی دولت‌ها و تصمیم‌گیرندگان بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Bardsley & Wiseman, 2012 Vogel, Susanne, Roger & Geoffrey, 2012.,).

با توجه به موارد فوق، واکاوی فضایی و زمانی محیط‌زیست و درنتیجه، تأیید نظریه آسیب‌پذیری ارائه شده توسط هیأت بین دولتی تغییرات اقلیمی[1] (۲۰۱۳) در مورد محیط‌زیست ایران می‌تواند به بسیاری از سؤالات پاسخ دهد و همچنین توجه سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران را به وضعیت کنونی محیط‌زیست جلب کند. علاوه بر این، توانایی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در مورد مسائل جامعه مثل محیط‌زیست را به سیاست مدران ارائه می‌کند. به همین ترتیب، تمرکز اصلی این تحقیق بر نظریه آسیب‌پذیری و جنبه داخلی آن یعنی آسیب‌پذیری در ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن و همچنین نقش پویایی جمعیت‌ها در افزایش ظرفیت سازشی خواهد بود. ازاین‌رو، تحقیق حاضر درصدد است به این سؤال که در ابتدا وضعیت محیط‌زیست ایران در دو بعد حساسیت و در معرض خطر بودن چگونه است؟ و آیا الگوی فضایی خاصی در این دو بعد آسیب‌پذیری وجود دارد؟ پاسخ دهد.

۲. مواد و روش

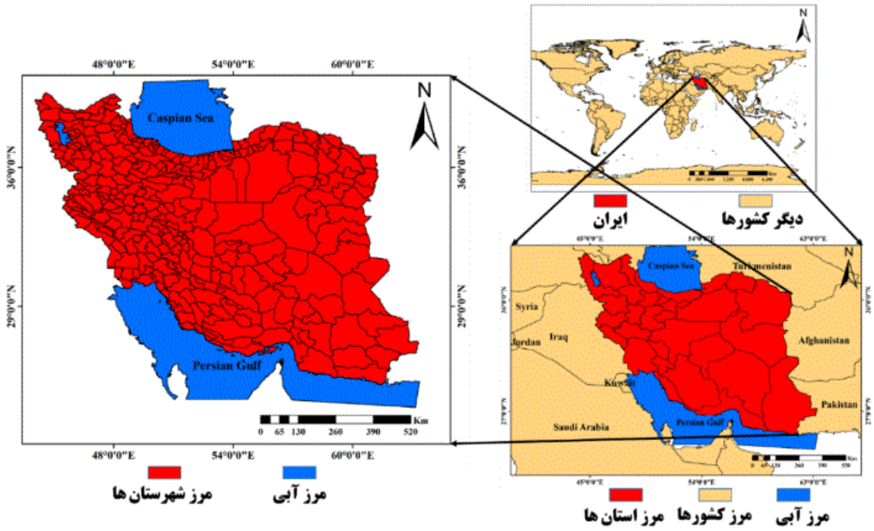
۲-۱ موقعیت منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه مطابق شکل ۱ و بر مبنای تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰ تعداد ۳۹۷ شهرستان ایران در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ خواهد بود که بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه تا ۶۳ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۴ درجه شمالی واقع شده است. کشور ایران با تنوع بسیار زیاد اقلیمی، خاکی، اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی مساحتی معادل ۱/۶۲۰ میلیون کیلومترمربع دارد. اقلیم غالب ایران فراخشک و خشک بیابانی[2] (۶۳ درصد کشور) بوده و مقدار متوسط بارندگی آن ۲۵۰ میلی‌متر است (Mohammadi, Karimzadeh, Pourmanafi & Soltani, 2018).

---

1 . Intergovernmental Panel on Climate Change

۲ . مطابق طبقه بندی دومارتون (De Martonne)



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Fig.1. Location of the study area

۲-۲ روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و روش آن تحلیل ثانویه است که سطح تحلیل آن مطابق شکل ۱ و بر مبنای تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰ تعداد ۳۹۷ شهرستان ایران در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ خواهد بود. با توجه به موارد فوق، به‌منظور تحقق هدف پژوهش حاضر، در ابتدا چارچوب نظری و علمی موضوع بررسی و در ادامه روند تحقیق مطابق گزارش وضعیت محیط‌زیست ایران و مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری (۱۳۹۶) با تمرکز بر داده‌های محیط‌زیست شامل ۶ مجموعه داده آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، منابع آبی، فرسایش خاک، تنوع زیستی و تغییر اقلیم برای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری محیط‌زیست ایران موردتوجه قرار گرفت (Sadeghi, 2023). در همین راستا یکی از آلاینده‌های اصلی هوا ذرات معلق[1]، به‌ویژه ذرات با قطر آئرودینامکی کمتر از ۲/۵ میکرون[2] و ۱۰ میکرون است، که هنوز علی‌رغم تلاش‌های بسیار برای کنترل و کاهش آن، به‌عنوان یک مشکل فراگیر باقی مانده است. اگرچه اندازه‌گیری‌های مربوط به ایستگاه-های زمینی پایش غلظت ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون به دلیل عدم پوشش کلیه مناطق بررسی و مطالعه آلودگی و اثرات ناشی از این ذرات ناکافی است (Raispour, 2021)، اما دورسنجی ماهواره‌ای در بسیاری از مطالعات به دلیل در دسترس بودن داده‌ها در یک شرایط با پوشش کامل و یکنواخت جهت دستیابی به توزیع بزرگ‌مقیاس ذرات استفاده شد (Han et al., 2015; Kloog et al., 2015; Chudnovsky, 2021)؛ که محصول متداول

---

[1]. PM

[2]. PM2.5

ماهواره‌ای برای برآورد غلظت زمینی ذرات ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون، عمق نوری هواویزها از طریق ماهواره مادیس با وضوح ۱۰۰۰ متر می‌باشد (Raispour, 2021).

گازهای گلخانه‌ای مجموعه‌ای از گازهای بخار آب، دی اکسیدنیتروژن، دی اکسید کربن و متان را در بر می‌گیرند. امروزه به علت تولید بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای احتمال می‌رود که زمین از حالت استاندارد گرم‌تر شده و باعث، آب شدن یخ‌های قطبی و ایجاد سیل در نقاطی از جهان، افزایش فعالیت‌های زمین‌شناختی پوسته، زمین‌لرزه‌ها، سونامی‌ها، آتشفشان‌ها و طوفان‌ها بیشتر و اسیدی‌تر شدن آب اقیانوس‌ها (و در نتیجه صدمه به موجودات آبزی) شود (Azmi & Motiee, 2011)؛ بنابراین همان‌طور که اشاره شد دو گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن و متان از طریق دو ماهواره سنتینل و گوست به‌عنوان مهم‌ترین گازهای مطرح(IPCC, 2013) موردبررسی قرار گرفت.

تغییرات اقلیمی ذیل دو مؤلفه دمای سطح و بارش مدل‌سازی و مورداستفاده قرار می‌گیرد (IPCC, 2013). از آنجایی دمای سطح زمین یک متغیر کلیدی در آنالیز و مدل‌سازی بیلان انرژی سطح، رطوبت سطحی، تبخیر و تعرق و مطالعات تغییر اقلیم در مقیاس‌های گوناگون است (Sabziparvar & Nazemosadat, 2016; Lafortezza, Carrus, Sanesi & Davies, 2009). می‌توان به‌وسیله ماهواره‌ای دور سنجی مادیس با رزلوشن ۱۰۰۰ متر در بازه‌های زمانی کوتاه نمایشی سینوپتیکی از دمای سطح زمین را ارائه کرد (Rozenstein, Qin, Derimian & Karnieli, 2014). علاوه براین، بارش یا بارندگی مهم‌ترین عاملی است که به‌طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد (Raispour, 2021). همان‌طور که اسکندری و همکاران (Eskandari, Ahmadloo, Pourghasemi, Ahangaran & Rezapour, 2023) اشاره می‌کنند میانگین بارندگی در کشور ایران به‌طور میانگین ۲۴۰ میلی‌متر است که از این مقدار حدود ۷۰ درصد آن مستقیماً تبدیل به بخار می‌شود. علاوه براین، برآورد مقدار بارش از طریق تصاویر پنج‌روزه ناسا با کیفیت ۵۰۰۰ متر برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی از قبیل سیل، خشکسالی و رانش زمین از اهمیت بالایی برخوردار است (Eskandari et al., 2023).

افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی (که دومین منبع آب شیرین در دنیا است) به‌عنوان چالشی جدی در بیشتر کشورها ایجاد شده است (Cunningham, Sharp, Hiebert & James, 2003). پمپاژ زیاد آب، چهره‌ی زمین را دگرگون خواهد کرد؛ به‌طوری‌که کیفیت آب‌ها را کاهش و هزینه استحصال آن را افزایش می‌دهد (Issazadeh & Argany, 2021; Nie et al.,2019). در چند دهه اخیر در دشت‌های مختلف کشور ایران نیز افت سطح آب زیر زمینی شکل گرفته و استفاده از تکنیک دور سنجی و تصاویر ماهواره گریس در زمینه‌های مختلف محیط زیستی به‌ویژه منابع آب زیر زمینی گسترش یافته است (Farokhnia & Morid, 2014).

مجموعه‌ای از مطالعات در ارتباط با شاخص پوشش گیاهی نرمال شده نشان می‌دهد که مناطق با پوشش گیاهی بیشتر امکان بیشتری را برای زیست انواع گونه‌های جانوری فراهم می‌کند (De Jong, Verbesselt,

(Schaepman & De Bruin, 2012). به همین منظور از تصاویر روزانه مادیس با وضوح ۲۵۰ متر و تفاوت بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز شاخص پوشش گیاهی نرمال شده به‌منظور بررسی ابعاد محیط زیستی پوشش گیاهی، تراکم پوشش جنگل‌ها و بازنمایی تنوع زیستی استفاده شد.

فرسایش خاک[1]، سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل مختلف محیطی نظیر آب‌وهوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Chen et al., 2019; Thomas, Joseph & Thrivikramji, 2018; Lee, Chu, Guzman & Botero-Acosta, 2021). بااین‌حال، مداخلات انسانی از طریق تغییر کاربری زمین[2]، فعالیت‌های کشاورزی و ساختمانی می‌تواند این فرآیند را سرعت بخشد (Vanacker et al., 2019; Diwediga, Le, Agodzo, Tamene & Wala, 2018). ازاین‌رو، امـروزه فرسایش خاک به‌طور گسترده‌ای توسط مدل راسل محاسبه می‌شود (Paul, Techen, Robinson & Helming, 2019).

با توجه به موارد فوق و مطابق جدول ۱ داده‌های مورداستفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس[3] (ذرات معلق، دمای سطح، تنوع زیستی)، ماهواره سنتینل و گوست[4] (گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسید کربن)، تصاویر ماهواره‌ای GPM و Trmm و شبیه‌سازی پنجروزه ناسا[5] (بارش)، ماهواره گریس[6] (آب‌های زیر زمینی)، نقشه خاک فائو[7]، نقشه مدل رقومی ارتفاع ایران و مدل راسل[8] (فرسایش خاک) از طریق کد نویسی در محیط ابری گوگل ارث انجین[9] به دست آمد. به‌طورکلی در بحث داده‌های مورداستفاده امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تکمیل و ارائه داده‌های محیط‌زیستی به‌طور خاص در پایش آلودگی هوا (Han et al, 2015; Kloog et al., 2015; Chudnovsky, 2021; Karimian et al., 2016; Rozenstein et al., 2014; Weng, Fu & Gao, 2014; Ashouri et al., 2015; Kirschbaum et al., 2017; Yuan et al., 2018; Tang, Clark, Papalexiou, Ma & Hong, 2020)، تغییرات اقلیمی (Yoshida et al., 2011; Saxena and Naik, 2019; Schneising et al., 2019)، گازهای گلخانه‌ای، تنوع زیستی (Rannow & Neubert, 2014; Najafi, Darvishsefat, Fehati & Attarod, 2020)، منابع آب زیرزمینی (Feyisa, Meilby, Fensholt & Proud, 2014; Jiao, Zhang & Wang, 2015; Moshayedi & Jahangir, 2021; Famiglietti et al., 2011) و فرسایش خاک (Mohammadi et al., 2018; Teng et al., 2016; Lee et al., 2021) با توجه به تنوع اقلیم‌ها موردتوجه قرار گرفته است.

1. Soil Erosion
2. Land-use change
3 . MODIS
4. Sentinel & GOSAT
5. NASA Pentad Precipitation
6. Greece
7. FAO
8. RUSSEL
9. Google Earth Engine

جدول ۱- زمان و منبع جمع‌آوری داده‌های مورداستفاده

Table 1- Time and data collection source

زمان Time	کیفیت (m) Quality	منبع جمع‌آوری Data collection Source	ماهواره Satellite	داده Data	
2011.03.20-2022.03.20	1000	"MODIS/006/MCD19A2_GRANULES" select('Optical_Depth_047')	Modis	ذرات معلق Particulate Matter	
	1000	("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CH4") select('CH4_column_volume_mixing_ratio_d.ry_air')	Sentinel & Gosat	متان Methane	گازهای گلخانه‌ای Greenhouse Gases
		("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO") select('CO_column_number_density').		کربن Carbon	
	5000	("UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD")	5-day Nasa	بارش Rain	تغییرات اقلیمی Climate Change
	1000	("MODIS/006/MOD11A1") select('LST_Day_1km').	Modis	دما Temp.	
		('NASA/GLDAS/V022/CLSM/G025/DA1D') select('GWS_tavg')	Grace	آب‌های زیر زمینی Groundwater	
	250	("MODIS/006/MOD13Q1") select('NDVI').	Modis	تنوع زیستی Biodiversity	
	5000	("UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD")	5-day Nasa	باران Rain	فرسایش خاک راسل Soil erosion by the RUSLE model
	250	("MODIS/006/MOD13Q1") select('NDVI').	Modis	پوشش گیاهی Vegetation Cover	
	30	DEM	DEM	توپوگرافی Topography	
	30	DEM	DEM	حفاظت Conservation	
	30	DSMW	FAO Soil Map	خاک Soil	

در ادامه برای نشان دادن الگوهای فضایی موجود در داده‌های تحقیق از آزمون Getis استفاده شد. تحلیل لکه‌های داغ آماره (Getis- Ord) می‌تواند مناطقی را که میانگین محلی آن‌ها بیشتر از میانگین کل است مشخص کند (Getis & Ord, 1996). این ابزار نه‌تنها برای تائید یا رد وجود خودهمبستگی فضایی محلی است، بلکه اطلاعات قابل نقشه شدن را برای بصری کردن داده‌ها فراهم می‌کند (Carroll, Reid & Smith, 2008; Hinman, 2017). ازاین‌رو به‌منظور بررسی ترکیب حوزه فضایی طبق رابطه ۱ از آماره گتیس استفاده شد.

$$Gi^* = \frac{\sum_{j\neq i} w_{ij}\, x_j - w_i \bar{x}}{s\sqrt{\frac{n s_{1i} - w_i^2}{n-1}}}$$ رابطه ۱

در رابطه فوق W_{ij} یک وزن مکانی است و مناطق همسایه j به منطقه i را تعریف می‌کند، W_i مجموع وزنی مکانی W_{ij} است. در گام آخر از دیدگاه پسا اثبات‌گرایی[1] برای اثبات نظریه آسیب‌پذیری با بررسی داده‌های محیط‌زیست در ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

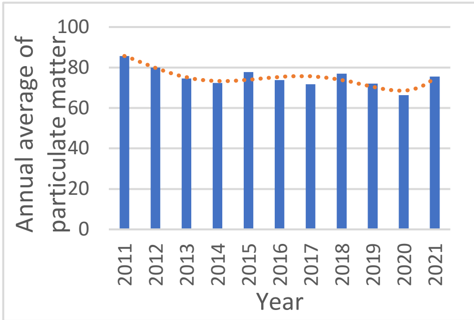
ابتدا یافته‌ها حول چند محور کلیدی به‌صورت توصیفی از روند و الگوی فضایی پارامترهای آلودگی هوا، گازهای گلخانه‌ای، تغییرات اقلیمی، آب‌های زیرزمینی، تنوع زیستی، فرسایش خاک ارائه، سپس نتایج آزمون آماری خودهمبستگی فضایی گتیس در بعد میانگین سالانه هر پارامتر (برای نشان دادن شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری و شناسایی محیط‌های آسیب‌پذیر)، عرضه و در انتها میزان رشد سالانه هر پارامتر (برای نشان دادن حساسیت) ارائه می‌شود.

۳-۱ یافته‌های وضعیت محیط‌زیست ایران

گردوغبار:

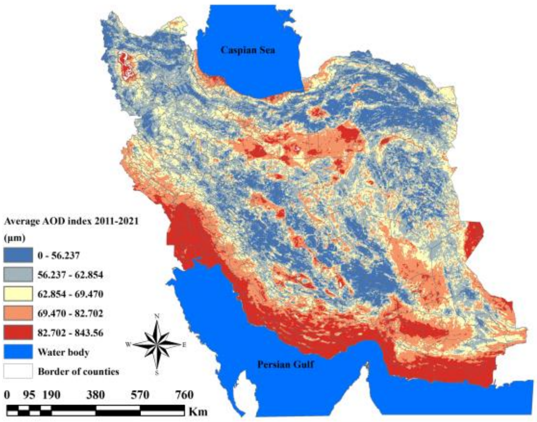
نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که به‌طور خاص ذرات معلق ایران در نوار مرزی غرب تا جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق را پوشش می‌دهد که دریاچه ارومیه و دو کانون مرکزی ذرات معلق در مرکز کشور نیز قابل مشاهده است. علاوه براین، نتایج میانگین کشوری ذرات معلق نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ میانگین سالانه شاخص ذرات معلق ۸۵/۷۲ بود که در سال ۱۳۹۴ به مقدار ۷۷/۷۸ و در سال ۱۴۰۰ به مقدار ۷۵/۵۹ کاهش می‌یابد. همچنین در سال ۱۳۹۰ شهرستان ارسنجان فارس با میانگین ۱۴۵ میکرون آلوده‌ترین شهرستان ایران و شهرستان بهار استان فارس با مقدار میانگین ۱۴ پاک‌ترین شهرستان کشور بوده است. بااین‌حال در سال ۱۴۰۰ شهرستان بندرلنگه، استان هرمزگان با مقدار ۱۵۵ آلوده‌ترین و شهرستان بردسیر، استان کرمان با میانگین ۲۶/۵۵ میکرون پاک‌ترین شهرستان ایران بوده است.

1. Post positivism



روند میانگین ده‌ساله ذرات معلق

The 10-year trend of particulate matter



میانگین ده‌ساله ذرات معلق

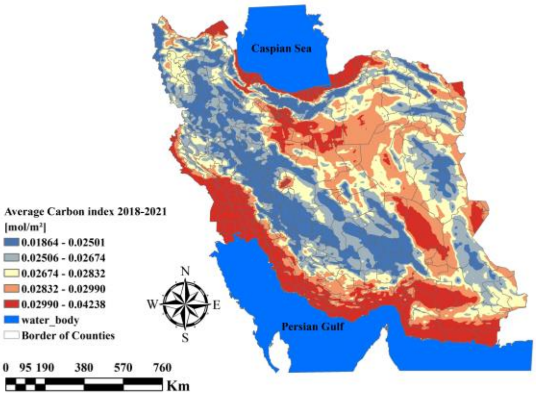
The 10-year average of particulate matter

شکل ۲- الگوی فضایی و روند تغییرات میانگین ذرات معلق کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.2. The Spatial pattern and trend of changes in the average particulate matter across Iran from 2011 to 2021

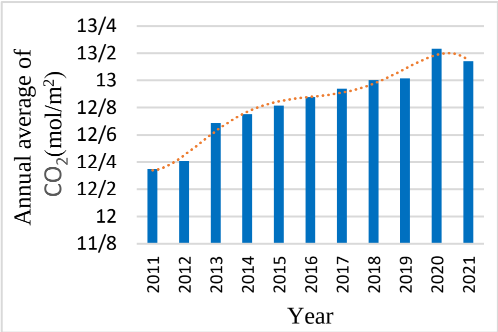
گازهای گلخانه‌ای:

توزیع گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در کشور مطابق شکل ۳ است. به‌طوری‌که شهرستان‌های نوار غرب تا جنوب و جنوب شرق و نوار شمالی کشور به همراه نقاط مرکزی کانون اصلی انتشار گاز گلخانه‌ای کربن پایه بوده است. علاوه براین روند سالانه انتشار دی‌اکسید کربن نیز نشان می‌دهد که انتشار آن از سال ۱۳۹۰ با میانگین ۱۲/۳۴ به میانگین ۱۳/۲۴ در سال ۱۴۰۰ رسیده است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد میانگین انتشار دی‌اکسید کربن با گذشت زمان در حال افزایش است و شهرستان‌های نوار شمالی، نوار غرب تا جنوب شرق و مرکزی بالاترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده و به‌عنوان کانون اصلی انتشار دی‌اکسید کربن حائز اهمیت هستند. علاوه براین نتایج انتشار گاز متان (شکل ۳) نیز نشان می‌دهد شهرستان‌های مرکزی به سمت شمال شرق و شرق، نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق به همراه نوار شرق تا شمال شرق کشور بیشترین مقدار انتشار گاز متان را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و شهرستان‌های غربی کمترین مقدار انتشار را داشته‌اند. نتایج روند سالانه انتشار دی‌اکسید کربن نیز نشان می‌دهد که از سال ۱۳۹۰ با مقدار میانگین ۱۹۰۵ تا سال ۱۳۹۴ با مقدار ۱۹۴۱ روند انتشار افزایشی و بعد از آن تا سال ۱۳۹۷ (تقریباً مصادف با همه‌گیری کووید ۱۹) با مقدار ۱۸۲۷ انتشار دی‌اکسید کربن به‌صورت میانگین کاهشی و مجدداً روند افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در سال ۱۴۰۰ به مقدار میانگین ۱۹۰۷ می‌رسد.



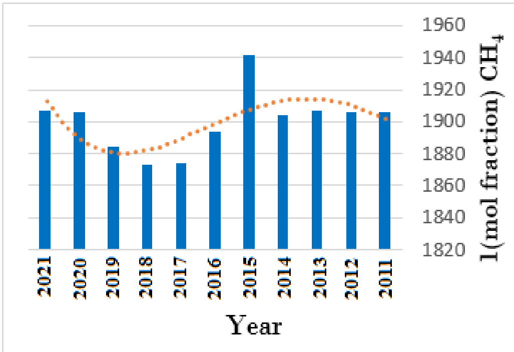
نقشه میانگین ۴ ساله دی‌اکسید کربن

The 4-year average map of CO_2



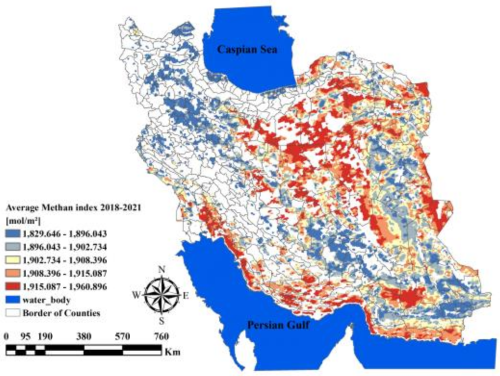
روند میانگین ده‌ساله دی‌اکسید کربن

The 10-year trend of CO_2



روند میانگین ده‌ساله متان

The 10-year trend of CH_4



نقشه میانگین ۴ ساله متان

The 4-year average map of CH_4

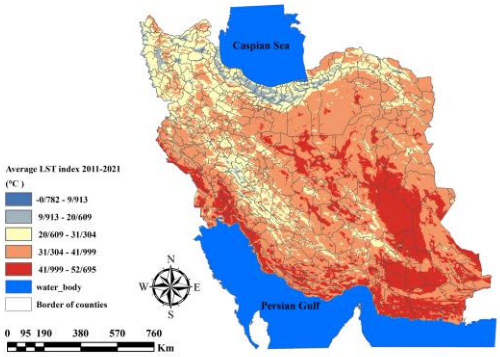
شکل ۳- الگوی فضایی و روند تغییرات میانگین گازهای گلخانه‌ای (کربن و متان) کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.3. The spatial pattern and trend of changes in the average greenhouse gases(CO_2 & CH_4) across Iran from 2011 to 2021.

تغییرات اقلیمی:

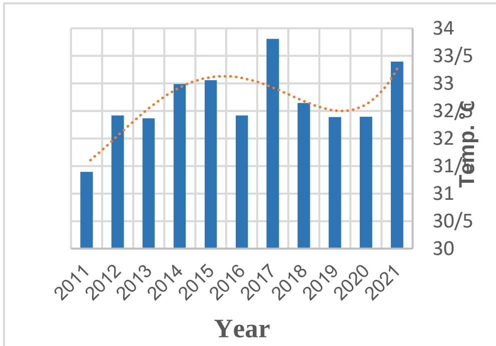
نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد به‌طورکلی شهرستان‌های نوار غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی تا شرق از دمای بیشتری برخوردار هستند. در مقابل، شهرستان‌های شمالی، شمال غرب از دمای کمتری برخوردار هستند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که میانگین دمای سطح کشور از ۳۱/۳۹ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۰ به ۳۳/۸۰ سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۶ که گرم‌ترین سال ایران بوده و ۳۳/۳۹ درجه در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است به‌طوری‌که میانگین دمای کشور ۲ درجه سانتی گرد در طول دوره موردبررسی

افزایش یافته است. از مهم‌ترین پیامد اصلی افزایش دما در یک منطقه جغرافیایی می‌توان به تغییرات اقلیمی گسترده اشاره کرد. علاوه بر این، نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد الگوی بارش کشور ایران پراکنده و از نابرابری گسترده‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که در شهرستان‌های نوار شمالی و نوارغربی کشور شاهد میانگین بارش خوب و در شهرستان‌های شرقی، جنوب شرق، شمال شرق و مرکز میانگین بارش کمتر از استانداردهای ممکن است. علاوه براین روند تغییرات میانگین بارش سالانه نیز نشان می‌دهد که میانگین بارش کل کشور از سال ۱۳۹۰ با مقدار ۲۳۲ میلی متر به ۳۱۲ میلی متر در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته و در سال ۱۴۰۰ با مقدار میانگین بارش ۱۹۵ میلی متری به پایین ترین حد خود در دوره موردمطالعه رسیده است.



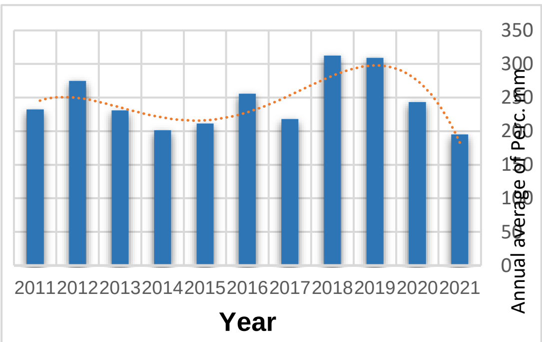
نقشه میانگین ده‌ساله دمای سطح

The 10-year average surface temperature map



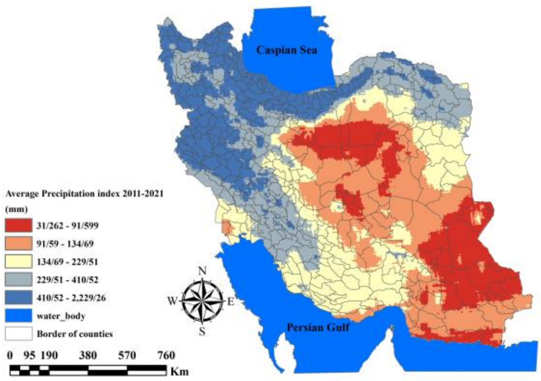
روند میانگین ده‌ساله دمای سطح

The 10-year trend of average surface temperature



روند میانگین ده‌ساله بارش

The 10-year trend of average precipitation



نقشه میانگین ده‌ساله بارش

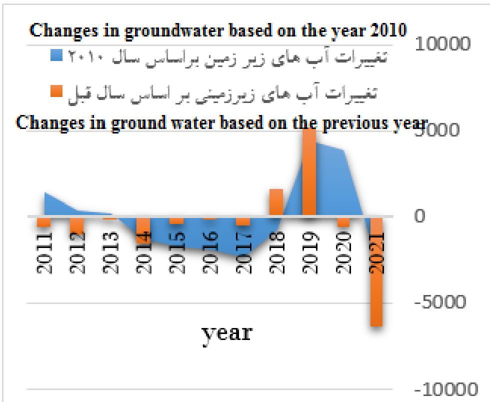
The 10-year average precipitation map

شکل ۴- الگو فضایی و روند میانگین تغییرات اقلیمی (دما و بارش) کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.4. The spatial pattern and trend of average climatic changes (Temperature and Precipitation) across Iran from 2011 to 2021

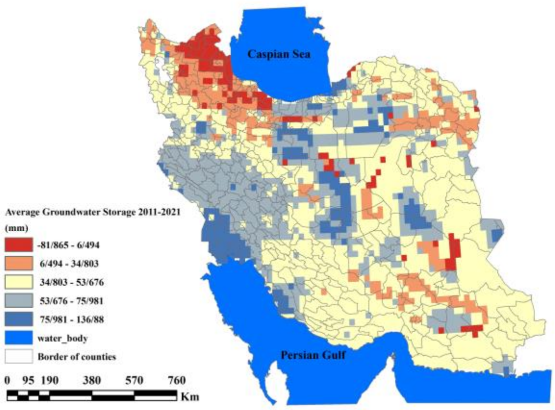
منابع آب زیر زمینی:

شکل ۵ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۰ شاخص آب‌های زیر زمینی به نسبت سال ۱۳۸۹ یعنی سال مبنا ۱۴۵۶ میلی متر مثبت بوده و بعد از آن به ۲۳۶۹ میلی متر منفی در سال ۱۳۹۶ می‌رسد. به سبب سیلاب سال ۱۳۹۸ شاخص به ۴۴۲۵ میلی متر افزایش و بعد از آن به ۲۵۴۰ میلی متر منفی در سال ۱۴۰۰ کاهش یافت. نتایج مقایسه شهرستانی نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ عباس آباد استان مازندران با ۳۳ میلی متر منفی بیشترین کاهش و شهرستان لنگرود استان گیلان با ۴۷ میلی متر مثبت بیشترین افزایش را داشته‌اند؛ اما با بررسی این نتایج در سال ۱۴۰۰ نتایج می‌توان روند کاهشی آب‌های زیر زمینی را بهتر درک کرد. به‌طوری‌که شهرستان تنکابن استان مازندران با ۲۵۵ میلی متر منفی بیشترین کاهش و شهرستان هویزه با ۲۰ میلی متر مثبت بیشترین افزایش آب‌های زیر زمینی را داشته که مقایسه مقادیر بیشینه و کمینه شهرستانی نشان از کاهش گسترده آب‌های زیر زمین کشور طی دوره موردمطالعه دارد. علاوه بر این مطالعه الگوی فضایی موجود در این رابطه نشان می‌دهد کاهش سطح آب‌های زیر زمینی در مناطق شمالی، شمال غرب، جنوب و شمال شرق کشور به واسطه کاهش بارش‌ها و افزایش بیش از حد برداشت آب‌های زیر زمینی به یک چالش جدی در کشور تبدیل شده است. چراکه کاهش آب‌های زیر زمینی با کاهش رطوبت خاک، افزایش تغییرات اقلیمی، فرو نشست گسترده زمین همراه است.



روند میانگین ده‌ساله منابع آب زیر زمینی

The 10-year trend of average groundwater



نقشه میانگین ده‌ساله منابع آب زیر زمینی

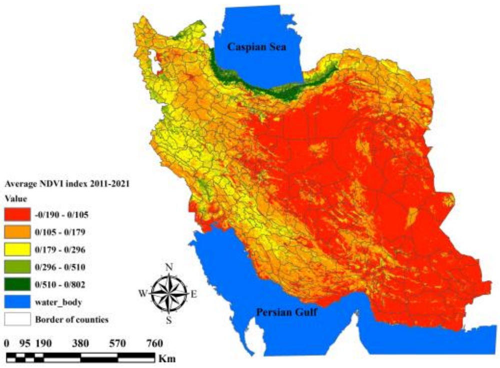
The 10-year trend of average groundwater

شکل ۵- الگو و روند میانگین تغییرات منابع آب زیر زمینی کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ بر مبنای سال ۱۳۸۹

Fig.5. The spatial pattern and trend of average groundwater across Iran from 2011 to 2021

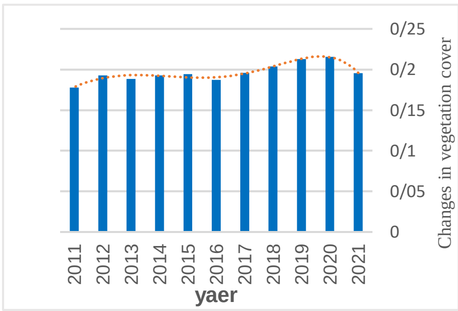
تنوع زیستی:

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که نوار شمالی کشور به واسطه پوشش گیاهی نرمال شده بالاتر امکان زیست گونه‌های بیشتر گیاهی و جانوری را به نسبت سایر مناطق فراهم می‌کند. علاوه براین از شمال غرب تا بخش‌های انتهایی جنگل‌های زاگرس در استان لرستان نیز می‌توان پوشش گیاهی نرمال شده مناسبی را هرچند ضعیف‌تر از نوار شمالی مشاهده کرد که شرایط قابل قبولی را برای زیست انواع موجودات زنده فراهم نموده است. سایر مناطق کشور به‌شدت از ضعف پوشش گیاهی نرمال شده و تنوع زیستی پایین رنج می‌برند. علاوه براین همان‌طور که روند تغییرات میانگین سالانه در شکل ۶ نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده از مقدار ۰/۱۷ به مقدار ۰/۲۱ در سال ۱۳۹۸ و مقدار ۰/۱۹ در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است. به‌طوری‌که مقایسه نتایج شهرستانی نشان می‌دهد شهرستان فهرج استان کرمان با مقدار ۰/۰۵۷ ضعیف‌ترین تنوع زیستی و شهرستان عباس آباد مازندران با مقدار ۰/۶۱ بهترین تنوع زیستی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در سال ۱۴۰۰ شهرستان فهرج با مقدار ۰/۰۶ هنوز ضعیف‌ترین تنوع زیستی و شهرستان عباس آباد با افزایش چند صدم درصدی با مقدار ۰/۶۷ بهترین تنوع زیستی و پوشش گیاهی‌نرمال شده را به خود اختصاص داده است.



نقشه میانگین ده‌ساله تنوع زیستی

The 10-year trend of average biodiversity



روند میانگین ده‌ساله تنوع زیستی

The 10-year trend of biodiversity

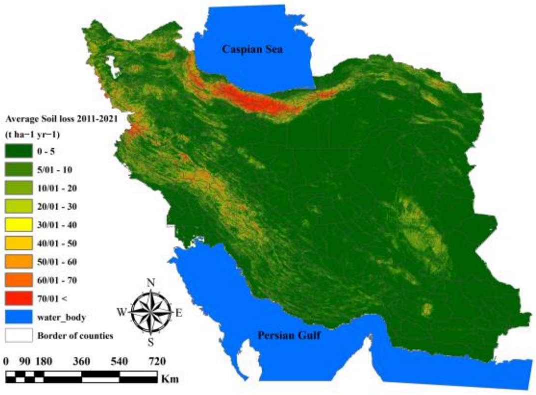
شکل ۶- الگو و روند میانگین تغییرات تنوع زیستی کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

Fig.6. The spatial pattern and trend of average biodiversity across Iran from 2011 to 2021

فرسایش خاک:

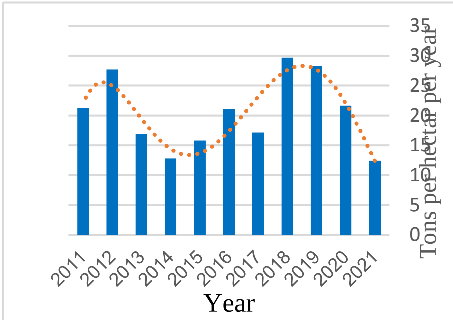
به‌طورکلی الگوی فضایی فرسایش خاک مطابق نتایج شکل ۷، سه کانون نوار شمالی کشور، نوار غربی و منطقه کویری و جنوب شرق کشور را به‌عنوان کانون‌های اصلی فرسایش خاک شناسایی کرد. علاوه براین نتایج روند تغییرات فرسایش خاک نیز نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ به‌طور میانگین ۲۱ تن بر هکتار بر سال فرسایش خاک در ایران وجود دارد که این مقدار به ۲۹ تن بر هکتار بر سال برای سال ۱۳۹۷ افزایش پیدا می‌کند و در سال ۱۴۰۰ به ۱۲ تن بر هکتار بر سال می‌رسد که می‌تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گسترده‌ای در پی

داشته باشد. علاوه براین می‌توان اشاره کرد که به‌طور متوسط از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ در حدود ۲۰/۴۲ تن بر هکتار بر سال فرسایش خاک وجود داشته که مجموع خاک از دست رفته در این دوره به‌طور متوسط برای هر سال معادل ۲۵۴۲۹۲۰۴۴۰ تن است.



نقشه میانگین دهساله فرسایش خاک

The 10-year trend of average soil erosion



روند میانگین دهساله فرسایش خاک

The 10-year trend of soil erosion

شکل ۷- الگو و روند میانگین تغییرات فرسایش خاک کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

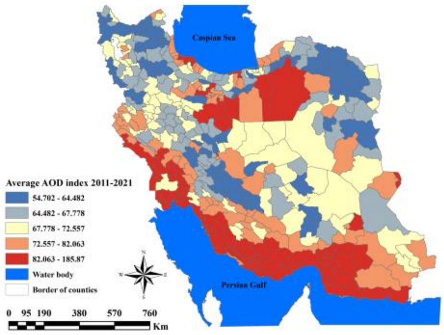
Fig.7. The spatial pattern and trend of average soil erosion across Iran from 2011 to 2021

۳-۲ خود همبستگی فضایی گتیس

در بحث ذرات معلق به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی سنجش آلودگی هوای کمتر از ۲/۵ میکرون و شاخص گرد و غبار با قطر ۱۰ میکرون، نتایج مطابق شکل ۸ در ارتباط با نقشه میانگین سالانه نشان داد که شهرستان‌های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی تمرکز بیشترین انتشار ذرات معلق را دارند. در همین راستا آزمون آماری گتیس نیز این مجموعه شهرستان‌ها را به‌عنوان مناطق در معرض آسیب‌پذیر ناشی از انتشار ذرات معلق شناسایی می‌کند. علاوه بر این نتایج میزان رشد انتشارسالانه نیز نشان می‌دهد که در شهرستان‌های غرب و شمال غرب (رنگ آبی) با میزان رشد منفی بین ۳/۸۳ تا ۲/۱۵ شاهد کاهش ذرات معلق و در مقابل در شهرستان‌های جنوبی و مرکزی و شمالی تا شمال شرق به‌صورت یک نوار ممتد با میزان رشد ۰/۱۵۵ تا ۲/۸۳ بیشترین میزان رشد ذرات معلق قابل مشاهده است. به همین ترتیب، آزمون گتیس نیز نشان دهنده شکل گیری لکه داغ در نوار شمال تا جنوب به‌عنوان کانون اصلی مناطق حساس به آسیب‌پذیری می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که شهرستان‌های جنوب و مرکز به سمت شمال [مناطق مشترک بین میزان و میانگین] که هم رشد انتشار بیشتر و هم میانگین انتشار بیشتری دارند مناطق با ریسک بالا خواهند بود.

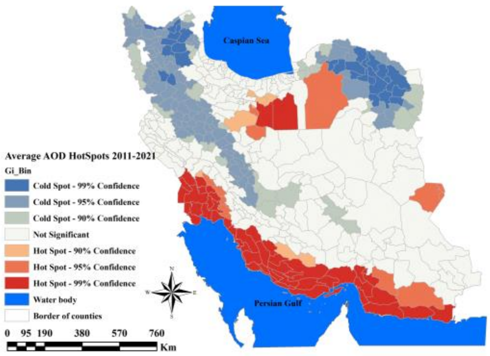
در معرض آسیب‌پذیری

Vulnerable to damage



متوسط میانگین ذرات معلق

The average mean of particulate matter

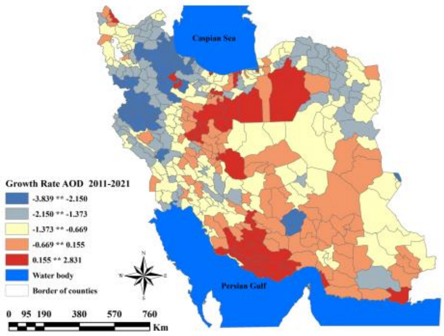


لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین ذرات معلق (گتیس)

Hot and cold spots of the average particulate matter(Getis)

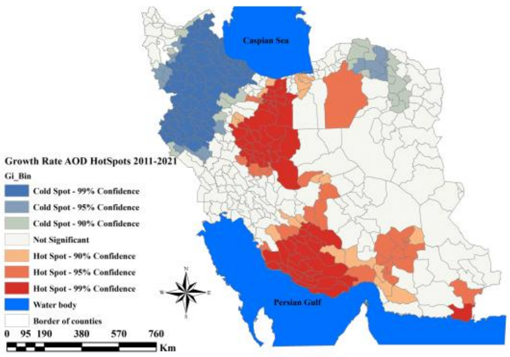
حساسیت

Sensitivity



میزان رشد ذرات معلق

The growth rate of particulate matter



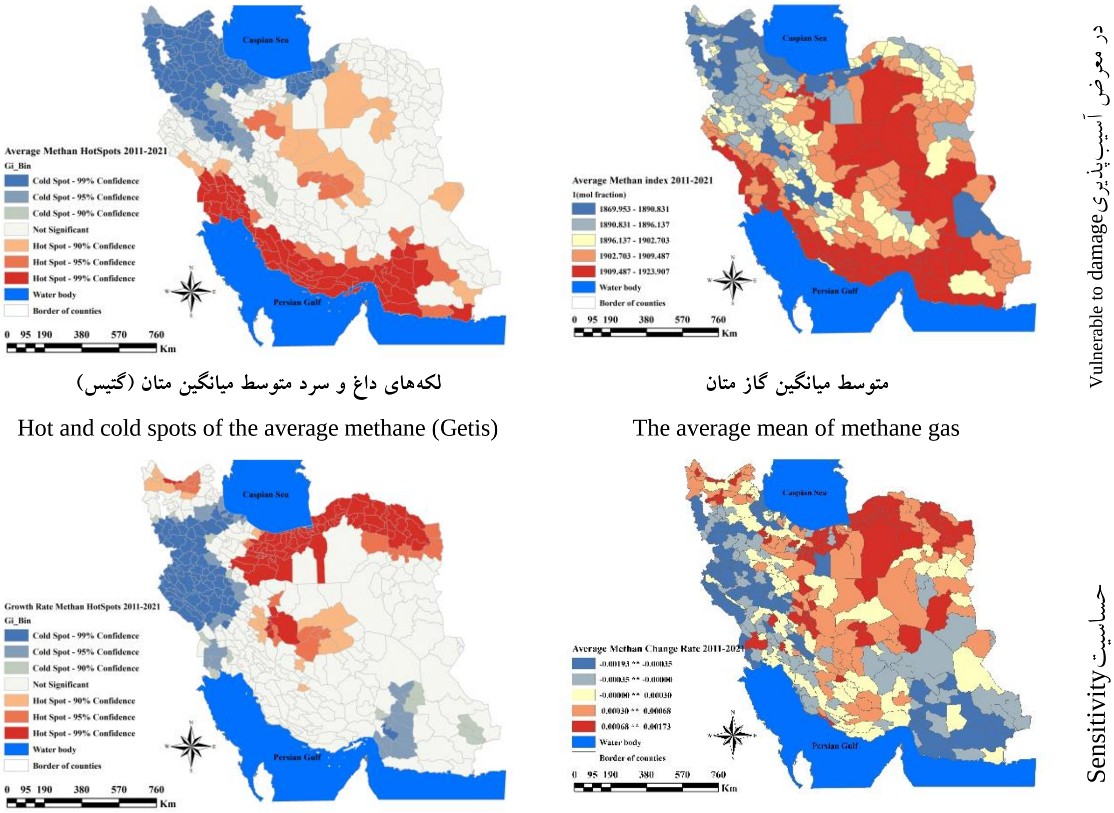
لکه‌های داغ و سرد متوسط میزان رشد ذرات معلق (گتیس)

Hot and cold spots of the average growth rate of particulate matter(Getis)

شکل ۸- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.8. The map of the average, growth rate and spatial autocorrelation index of particulate matter from 2011 to 2021

همان‌طور که نتایج شکل ۹ نشان می‌دهد در ارتباط با نتایج میانگین گازگلخانه‌ای متان شهرستان‌های مرکزی و نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق کانون اصلی انتشار گاز متان و مناطق آسیب‌پذیر را تشکیل می‌دهند که نتایج آزمون گتیس نیز تمرکز لکه داغ در این مناطق به‌عنوان شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیر را تأیید می‌کند. همچنین در ارتباط با میزان رشد انتشار متان نیز شهرستان‌های شمالی، شمال شرق و مرکز بیشترین میزان تغییرات بین (۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۱۷) به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد که نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز شکل‌گیری لکه‌های داغ با بیشترین میزان رشد انتشار متان در شهرستان‌های نوار شمالی، مرکزی و شمال شرق کشور به‌عنوان مناطق حساس را تأیید می‌کند. علاوه براین، شهرستان‌های مرکزی با رشد و میانگین انتشار بالا به‌عنوان مناطق پر مخاطره در انتشار گاز گلخانه‌ای متان شناسایی می‌گردد.



لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین متان (گتیس)

Hot and cold spots of the average methane (Getis)

متوسط میانگین گاز متان

The average mean of methane gas

تحلیل لکه‌های داغ و سرد متوسط رشد گاز متان (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average growth rate of methane gas (Getis)

میزان رشد گاز متان

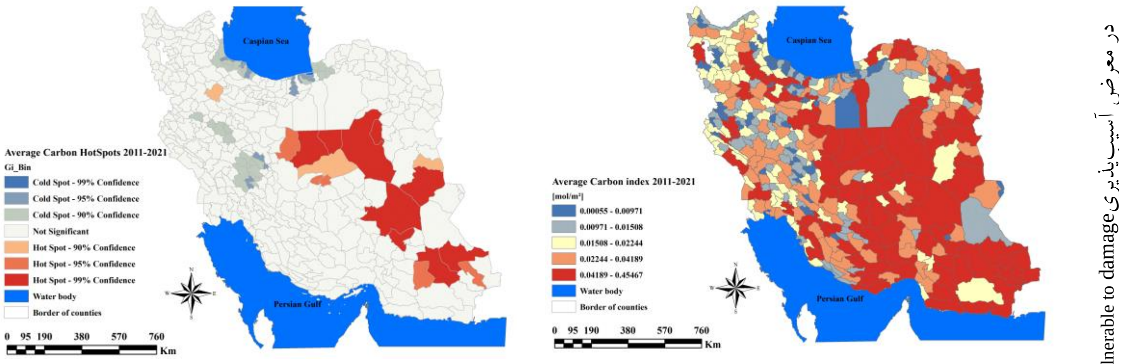
The growth rate of methane gas

شکل ۹- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی گاز گلخانه‌ای متان طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.9. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of methane greenhouse gas from 2011 to 2021.

علاوه بر این در رابطه با گاز دی‌اکسید کربن و مطابق نتایج شکل ۱۰ شهرستان‌های مرکزی به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق با بیشترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان مناطق در معرض آسیب‌پذیر شناسایی شد که نتایج آزمون گتیس نیز شکل‌گیری لکه‌های داغ با تمرکز بیشترین میانگین انتشار دی‌اکسید کربن را در این مناطق تأیید می‌کند. همچنین، نقشه میزان رشد تغییرات نشان می‌دهد که بیشترین میزان رشد تغییرات در شهرستان‌های شرقی، نوار جنوب تا غرب و نوار شمالی با میزان رشد بین ۰/۰۰۵۳ تا ۰/۰۲۱ بیشترین میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن را تجربه کرده و به‌عنوان مناطق حساس آسیب‌پذیری معرفی می‌گردد. به همین ترتیب نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز وجود لکه‌های داغ در نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شرق را به‌عنوان کانون‌های حساس آسیب‌پذیری ناشی از انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید

کربن تأیید می‌کند. علاوه بر این شهرستان‌های شرق و جنوب شرق به دلیل برخورداری از میزان رشد و میانگین انتشار بالا به‌عنوان مناطق پر مخاطره شناسایی می‌گردد.

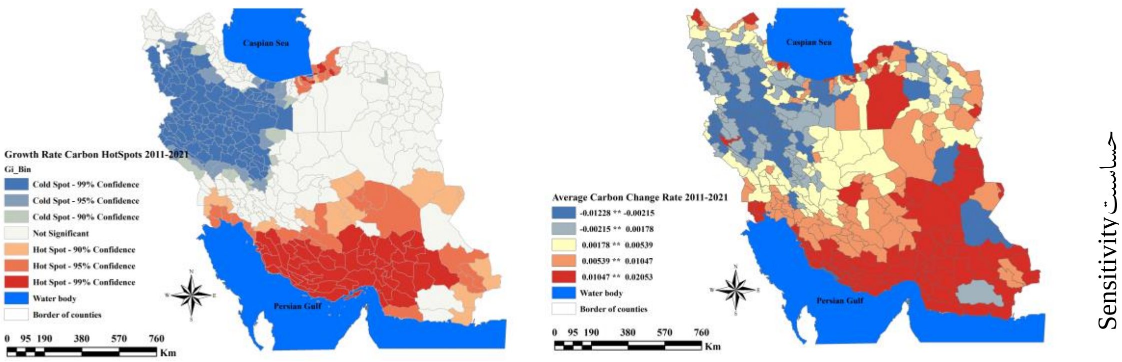


لکه‌های داغ و سرد متوسط میانگین دی‌اکسید کربن (گتیس)

Hot and cold spots of the average CO_2 (Getis)

متوسط میانگین گاز دی‌اکسید کربن

The average mean of CO_2 gas



تحلیل لکه‌های داغ و سرد گاز دی‌اکسید کربن (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average growth rate of CO_2 gas (Getis)

میزان رشد گاز دی‌اکسید کربن

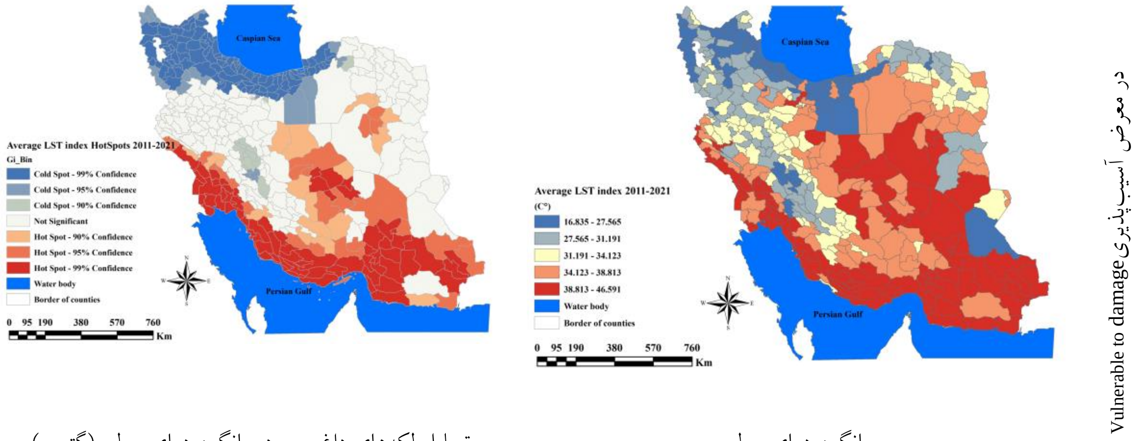
The growth rate of CO_2 gas

شکل ۱۰- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن طی سال-های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.10. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of CO_2 greenhouse gas from 2011 to 2021.

در ارتباط با پارامتر تغییرات اقلیمی که به‌وسیله دو مؤلفه دمای سطح و بارش عملیاتی می‌شود نیز نتایج شکل ۱۱ نشان داد در شهرستان‌های شمالی و شمال غرب با دامنه ۱۶/۸۳ تا ۳۱/۱۹ کمترین میانگین دما و شهرستان-های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق، شرق، شمال شرق و مرکز بیشترین میانگین دما را دارند که نتایج آزمون خود همبستگی فضایی گتیس نیز با نشان دادن لکه‌های داغ در شهرستان‌های غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و مرکز به‌عنوان کانون اصلی گرما، در معرض آسیب‌پذیر بودن این مناطق را تأیید

می‌کند. علاوه بر این، نقشه میزان رشد دمای سالانه نشان می‌دهد که شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب تمرکز لکه‌های داغ با بیشترین میزان رشد دما به‌عنوان شهرستان‌های مناطق حساس آسیب‌پذیری خواهند بود.

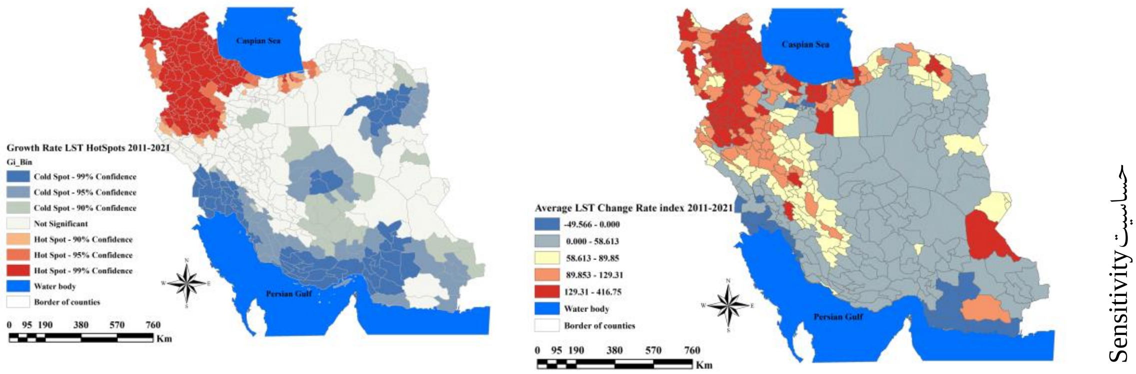


تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین دمای سطح (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average surface temperature(Getis)

میانگین دمای سطح

Average surface temperature



تحلیل لکه‌های داغ و سرد میزان رشد دمای سطح (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of surface temperature(Getis)

میزان رشد دمای سطح

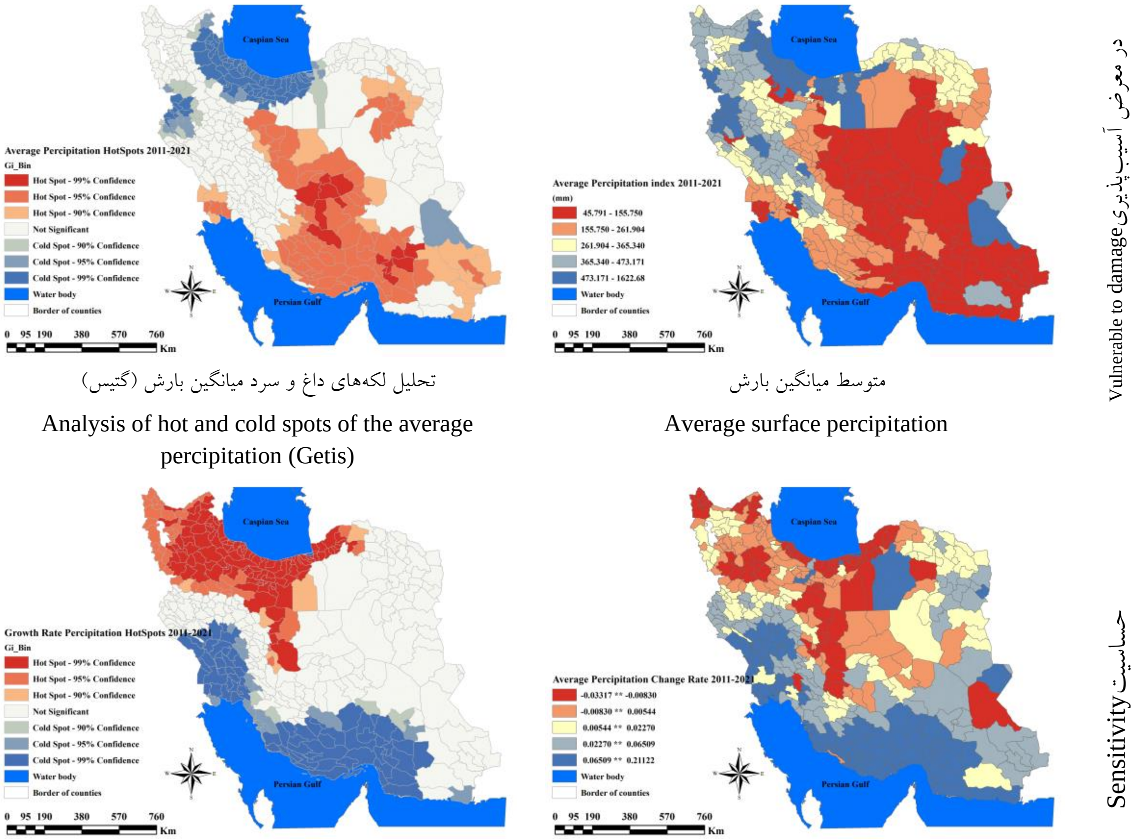
The growth rate of surface temperature

شکل ۱۱- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تغییرات اقلیمی دما طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.11. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of climate change in temperature from 2011 to 2021.

علاوه براین، برای مؤلفه بارش مطابق شکل ۱۲ متوسط بارش نشان می‌دهد درشهرستان‌های نوار شمالی و غربی کشور بیشترین میزان بارش و در شهرستان‌های نوار مرکزی تا جنوب و جنوب شرق کمترین میانگین

بارش وجود دارد که نتایج آزمون گتیس نیز آسیب‌پذیری شهرستان‌های مرکز تا جنوب و جنوب شرق را به‌عنوان لکه داغ با کمترین بارش و شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیر تأیید می‌کند. در مقابل نقشه میزان رشد بارش نشان می‌دهد که الگوی کاهشی بارش در شهرستان‌های شمالی، شمال غرب و مرکز تا شرق با تمرکز لکه داغ و میزان رشد منفی بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری تأیید می‌شود. به‌طورکلی می‌توان از شهرستان‌های مرکزی با رشد منفی و میانگین کم بارش به‌عنوان شهرستان‌های پر مخاطره نام برد.



تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین بارش (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the average percipitation (Getis)

متوسط میانگین بارش

Average surface percipitation

تحلیل لکه‌های داغ و سرد میزان رشد بارش (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of percipitation (Getis)

میزان رشد بارش

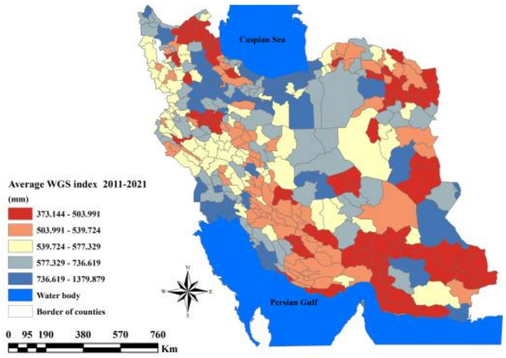
The growth rate of percipitation

شکل ۱۲- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تغییرات اقلیمی بارش طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۰

Fig.12. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of climate change in percipitation from 2011 to 2021.

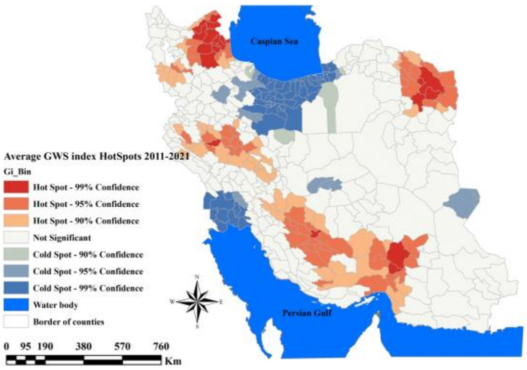
در رابطه با تغییرات آب‌های زیرزمینی نیز مطابق نتایج شکل ۱۳ شهرستان‌های نوار شمالی، مرکز و جنوب غرب بیشترین میانگین آب‌های زیر زمینی و شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و نوار غرب تا جنوب با کمترین میانگین آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری خواهند بود؛ بنابراین، تمرکز لکه داغ با کمترین میانگین آب‌های زیرزمینی نیز آسیب‌پذیر بودن این شهرستان‌ها را تأیید می‌کند. علاوه بر این، نتایج میزان رشد سالانه نیز نشان می‌دهد که شهرستان‌های شمالی و شمال غرب و شمال شرق با میزان تغییرات منفی بین ۱/۴۵۳ تا ۰/۰۹۱۴ بیشترین کاهش منابع آبی زیرزمینی را تجربه کرده‌اند. به‌طوری‌که نتایج آزمون گتیس نیز وجود لکه‌های داغ در شهرستان‌های شمالی و شمال غرب به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری را تأیید می‌کند. به‌طورکلی شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب کشور به‌عنوان شهرستان‌های با میانگین کم و رشد منفی به‌عنوان شهرستان‌های با مخاطره بالا شناسایی گردید.

در معرض آسیب‌پذیری Vulnerable to damage



میانگین متوسط آب‌های زیرزمینی

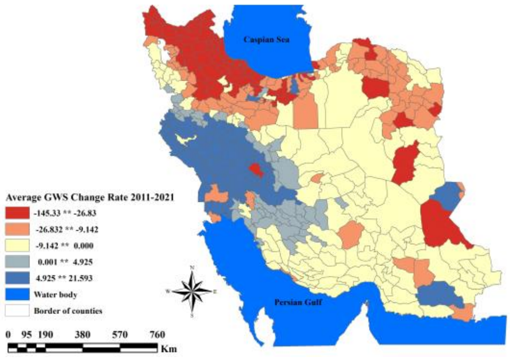
Average surface groundwater



تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین آب‌های زیرزمینی (گتیس)

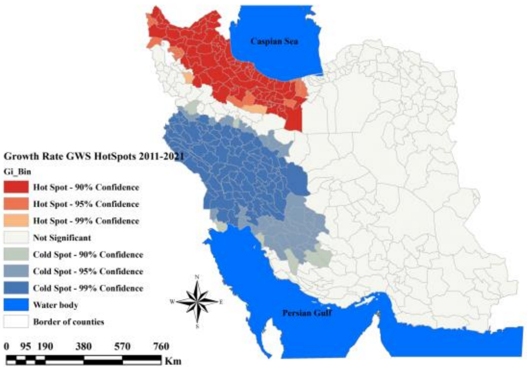
Analysis of hot and cold spots of the average groundwater (Getis)

حساسیت Sensitivity



میزان رشد آب‌های زیرزمینی

The growth rate of groundwater



تحلیل لکه‌های داغ و سرد آب‌های زیر زمینی (گتیس)

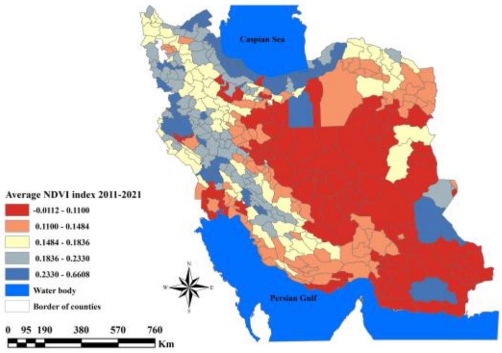
Analysis of hot and cold spots of the growth rate of groundwater (Getis)

شکل ۱۳- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی منابع آبی زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.13. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of groundwater resources from 2011 to 2021

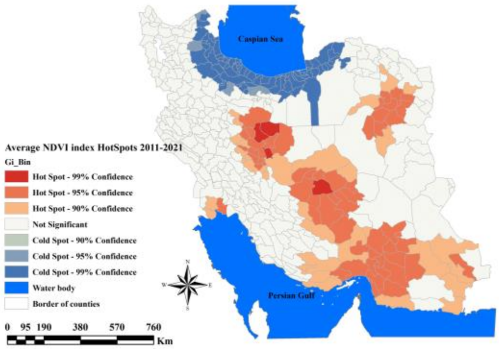
پارامتر تغییر انوهی پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی استاندارد شده، تنوع گونه‌های گیاهی را در یک منطقه خاص به تصویر می‌کشد. در همین راستا مطابق نتایج شکل ۱۴ نقشه میانگین تغییر انوهی پوشش گیاهی نشان می‌دهد شهرستان‌های مرکز به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق کمترین میانگین تغییر انوهی پوشش گیاهی را دارند. به همین ترتیب، نتایج آزمون گتیس نیز تمرکز لکه‌های داغ را در این مناطق به‌عنوان شهرستان‌های در معرض آسیب‌پذیری تأیید می‌کند. درمقابل، نتایج میزان رشد تغییر انوهی پوشش گیاهی نیز نشان می‌دهد شهرستان‌های غربی، جنوب شرقی و مرکزی به سمت جنوب با رشد منفی بین ۱/۹۰۸ تا ۰/۰۰۱ تمرکز رشد منفی و کاهش تغییر انوهی پوشش گیاهی را به‌عنوان شهرستان‌های حساس به آسیب‌پذیری تأیید می‌کند که با توجه به میانگین پایین و میزان رشد منفی بالا تمرکز لکه‌های در معرض آسیب‌پذیری و حساس به آسیب‌پذیری را شکل می‌دهند. مضاف بر این از شهرستان‌های جنوب غرب و جنوب متمایل به شرق که میانگین پایین و رشد مثبت دارند به‌عنوان شهرستان‌های با عملکرد مناسب یاد می‌شود.

در معرض آسیب‌پذیری Vulnerable to damage



میانگین متوسط تنوع زیستی

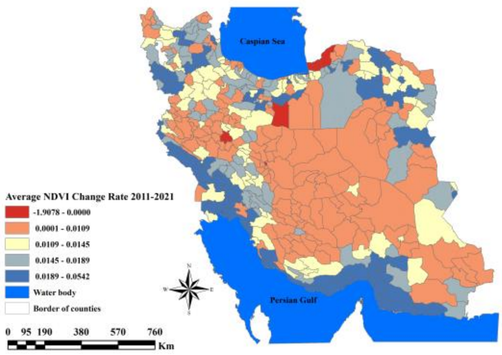
Average surface biodiversity



تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین تنوع زیستی (گتیس)

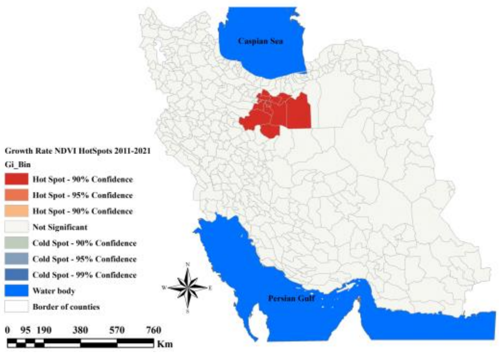
Analysis of hot and cold spots of the average biodiversity (Getis)

حساسیت Sensitivity



میزان رشد تنوع زیستی

The growth rate of biodiversity



تحلیل لکه‌های داغ و سرد رشد تنوع زیستی (گتیس)

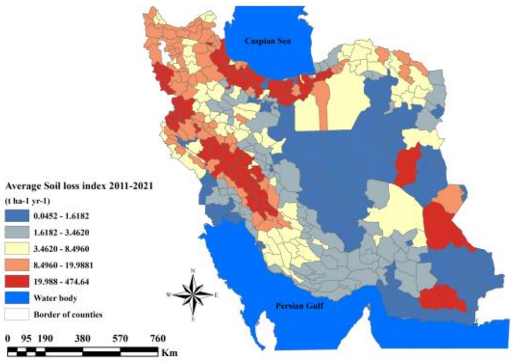
Analysis of hot and cold spots of the growth rate of biodiversity (Getis)

شکل ۱۴- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی تنوع زیستی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.14. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of biodiversity from 2011 to 2021

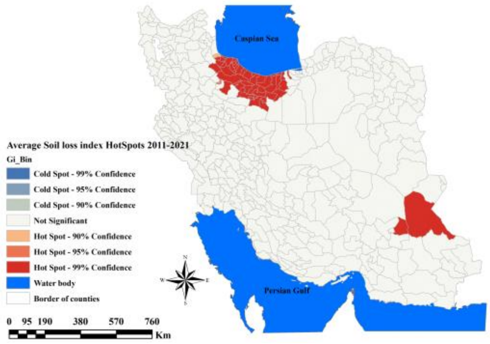
همان‌طور که نتایج شکل ۱۵ در ارتباط با نقشه میانگین فرسایش خاک نشان می‌دهد شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب بیشترین میانگین فرسایش خاک را دارند که نتایج گتیس نیز در معرض آسیب‌پذیری ناشی از فرسایش خاک در نوار شمال کشور را تأیید می‌کند. همچنین در ارتباط با رشد فرسایش خاک نیز نوار غرب تا جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق بیشترین میزان رشد مثبت فرسایش خاک را دارند که آزمون گتیس نیز حساس به آسیب‌پذیر بودن این شهرستان‌ها را تأیید می‌کند. علاوه براین شهرستان‌های غرب و جنوب غرب با میانگین بالا و رشد بالا به‌عنوان شهرستان‌های پر مخاطره شناسایی گردید.

در معرض آسیب‌پذیری Vulnerable to damage



میانگین متوسط فرسایش خاک

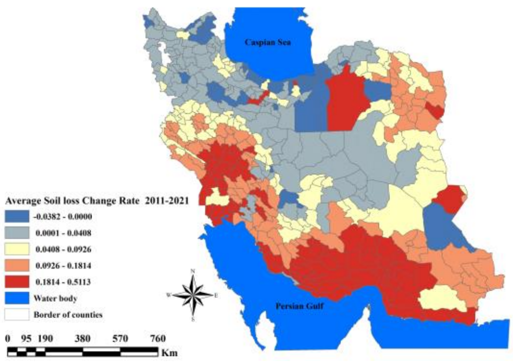
Average surface soil erosion



تحلیل لکه‌های داغ و سرد میانگین فرسایش خاک (گتیس)

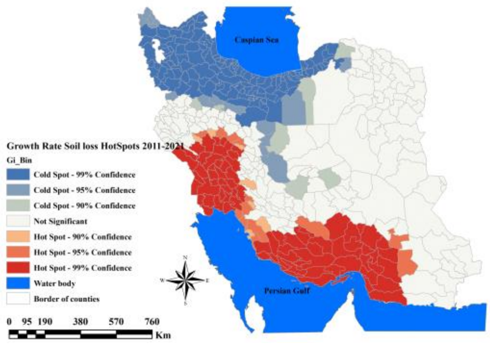
Analysis of hot and cold spots of the average soil erosion (Getis)

حساسیت Sensitivity



میزان رشد فرسایش خاک

The growth rate of soil erosion



تحلیل لکه‌های داغ و سرد فرسایش خاک (گتیس)

Analysis of hot and cold spots of the growth rate of soil erosion (Gettys)

شکل ۱۵- نقشه میانگین، میزان رشد و شاخص خودهمبستگی فضایی فرسایش خاک طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰

Fig.15. The map of the average, growth rate, and spatial autocorrelation index of soil erosion from 2011 to 2021

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی پراکنده بوده و دسترسی به آمار آن‌ها معمولاً با تأخیر زمانی همراه است، وجود روش‌های دیگری برای برآورد داده‌های محیط‌زیستی ضروری به نظر می‌رسد (Ashouri et al., 2015; Kirschbaum et al., 2017). در این راستا اطلاعات ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور می‌تواند جایگزین و یا مکمل مناسبی برای ایستگاه‌های زمینی در نظر گرفته شود. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان برآورد پارامترهای محیط‌زیستی در محدوده وسیعی از سطح زمین، به‌خصوص برای مناطق صعب‌العبور را امکان‌پذیر ساخته که این موضوع باعث توجه محققان به داده‌های ماهواره‌ای در سطح گسترده شده است (Ghajarnia, Liaghat & Arasteh, 2015; Kirschbaum et al., 2017).

علاوه براین، روش‌های فضایی به دلیل استفاده از مقادیر محلی و عدم تمرکز بر میانگین‌ها قابلیت‌های فراوانی را در نشان دادن الگوهای مکانی سطح خرد و نوسانات واقعی مکانی دارند (Sadeghi, Mohamadi Masiri & mohammadi, 2022). به همین دلیل قدرت و رابطه واقعی متغیرها را بهتر نشان می‌دهند؛ بنابراین در این تحقیق از روش خودهمبستگی فضایی گتیس و نظریه آسیب‌پذیری طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ برای ۳۹۷ شهرستان ایران استفاده شد.

همان‌طور که IPCC (IPCC, 2013 Solomon, 2007;)، ادگر(Adger, 2006) و چمبرز (Chambers, 1989) اشاره می‌کنند آسیب‌پذیری از سه عنصر حیاتی قرار گرفتن در معرض، حساسیت و ظرفیت سازگاری تشکیل می‌شود. این تعریف چندبعدی آسیب‌پذیری خود در دو جنبه خارجی، شامل عناصر ساختاری مرتبط با قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت؛ و جنبه داخلی شامل توانایی پاسخگویی و مقابله با عوامل استرس‌زا بررسی می‌شود؛ بنابراین با تأکید بر جنبه خارجی آسیب‌پذیری وضعیت محیط‌زیست ایران در دو بعد قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت، می‌توان بسترها و زمینه‌های لازم برای ایجاد ظرفیت سازگاری محیط‌زیست [به‌طور خاص با تأکید بر نقش پویایی‌های جمعیتی] که همواره مهم‌ترین هدف شناخت محیط‌زیست بوده را افزایش داد.

در همین راستا، نتایج خودهمبستگی فضایی گتیس در ارتباط با بعد در معرض آسیب‌پذیری [یا خطر] نشان داد که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های نوار جنوب غرب تا جنوب و جنوب شرق و شهرستان‌های مرکزی، همسو با نتایج احمدی و درویش (Ahmadi & Darvish, 2022) و شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ برای گاز گلخانه‌ای متان شهرستان‌های مرکزی و نوار جنوب تا جنوب شرق، همسو با عظمی و مطیعی (Azmi & Motiee, 2011) و شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های مرکزی به سمت شرق تا جنوب و جنوب شرق همسو با شایسته و غریبی (Shayesteh & Gharibi, 2022) و قنادی و همکاران (Ghannadi, Shahri & Moradi, 2022)؛ تغییرات اقلیمی ناش از دما شهرستان‌های جنوب، جنوب غرب، شرق، جنوب شرق و مرکز، همسو با محمدی و همکاران

(Mohammadi et al., 2018) و رمضانی و همکاران(Ramezani Khojeen, Kheirkhah Zarkesh & Daneshkar Arasteh, 2016)؛ تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های مرکز تا جنوب و جنوب شرق، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018) و ذبیحی و همکاران(Zabihi, Sadeghi & Vafakhah, 2015) ؛ آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمال غرب تا شمال شرق و نوار غرب تا جنوب، همسو با فروتن و همکاران(Forootan et al., 2014) و فرخ نیا و مرید(Farokhnia & Morid, 2014)؛ تنوع زیستی شهرستان‌های مرکز به سمت شرق، جنوب و جنوب شرق، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018)؛ فرسایش خاک شهرستان‌های نوار شمالی، شمال غرب و غرب، همسو با محمدی و همکاران(Mohammadi et al., 2018) با میانگین بالای تخریب در معرض آسیب‌پذیری [یا خطر] قرار دارند.

علاوه براین، نتایج خودهمبستگی فضایی گتیس در ارتباط با بعد حساسیت نیز تأیید می‌کند که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های جنوب، مرکز و شمال به‌صورت یک خط ممتد؛ برای گاز گلخانه‌ای متان شهرستان-های شمالی، شمال شرق و مرکز؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های شرق، نوار جنوب تا غرب و نوار شمالی؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از دما شهرستان‌های نوارشمالی، شمال غرب و غرب؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های شمالی، شمال غرب مرکز تا شرق؛ برای آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمالی و شمال غرب؛ برای تنوع زیستی شهرستان‌های مرکزی به سمت جنوب؛ برای فرسایش خاک شهرستان-های نوار غرب تا جنوب غرب و جنوب شرق با رشد بالای تخریب در وضعیت حساس آسیب‌پذیری قرار دارند.

به‌طورکلی مقایسه نتایج آزمون‌های خودهمبستگی فضایی ابعاد آسیب‌پذیری حساسیت و قرار گرفتن در معرض خطر نیز نشان می‌دهد که برای شاخص آلودگی هوا شهرستان‌های جنوبی و مرکزی به سمت شمال؛ برای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن شهرستان‌های مرکزی؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از دما شهرستان‌های شرق، جنوب شرق؛ برای تغییرات اقلیمی ناشی از بارش شهرستان‌های مرکزی؛ برای آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های شمال غرب، شمال شرق و جنوب کشور؛ برای تنوع زیستی شهرستان‌های مرکزی به سمت جنوب، جنوب و شرق؛ برای فرسایش خاک شهرستان‌های غرب و جنوب غرب که هم رشد بالا و هم میانگین تخریب بالای دارند در دسته شهرستان‌های با آسیب‌پذیری حاد دسته‌بندی می‌شوند؛ بنابراین می‌توان اشاره کرد که نتایج تأییدکننده آسیب‌پذیری در ابعاد حساسیت و قرار گرفتن در معرض خطر محیط‌زیست ایران به‌صورت الگوهای نابرابر فضایی همسو با مطالعات محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2018)؛ شایسته و غریبی(Shayesteh & Gharibi, 2022)؛ قنادی و همکاران(Ghannadi et al., 2022)؛ فرخ نیا و مرید(Farokhnia & Morid, 2014) است.

با مشخص شدن الگوهای فضایی متفاوت ابعاد حساسیت و در معرض خطر بودن آسیب‌پذیری می‌توان از مجموعه پیشنهادهای سیاستی برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش ظرفیت سازشی سخن گفت. به همین ترتیب در ذیل پیشنهادها این پژوهش حول چند محور کلیدی دسته‌بندی می‌شود: نخست، نقش سیاست‌های سطح خرد با توجه به الگوهای نابرابر شهرستانی جهت سیاست‌گذاری مرتبط با الگوهای متفاوت هر شهرستان در اولویت است. دوم، نقش سیاست‌های دوگانه برای شهرستان‌های در معرض خطر و شهرستان‌های حساس حائز اهمیت است. به‌طوری‌که شهرستان‌های در معرض حساسیت، تأکید سیاست‌ها بر پیشگیری و در شهرستان‌های در معرض خطرتمرکز اصلی بر سیاست‌های مقابله‌ای است. علاوه براین، با توجه به اینکه این مطالعه بخشی از یک پژوهش گسترده‌تر (Sadeghi, 2023) است با استناد به نتایج پژوهش مذکور می‌توان به‌طور خلاصه بر رابطه جمعیت و محیط‌زیست به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم افزایش ظرفیت سازشی تأکید کرد. جونز و پرستون (Jones & Preston, 2011) اشاره می‌کند تعاملات جمعیت و محیط‌زیست یک میدان مطالعاتی به‌طور فزاینده مهم است که نیازمند توجه فزاینده است. هنگام توجه به مسائل محیط‌زیستی اگرچه مسیرهای شناخته‌شده شامل نژاد، قومیت، پویایی جنسیتی، رشد اقتصادی و همچنین دسترسی به شبکه‌های ایمنی، اجتماعی و خدماتی که برای تأمین معیشت ضروری هستند، به‌سرعت دنبال شود. بااین‌وجود برخی از جنبه‌های پویایی جمعیت، مانند مهاجرت، شهرنشینی، تحولات خانوار، تحصیلات و ساختار سنی به‌طور مستقیم با سازگاری مرتبط هستند (Sadeghi, 2023; Abbasi Shavazi & Sadeghi, 2022). ازاین‌رو، تجزیه‌وتحلیل ویژگی-ها و پویایی جمعیت می‌تواند ابزار قدرتمندی برای برنامه‌ریزی سازگاری و ظرفیت سازشی ایجاد کند (Guzmán & de México, 2013). شربین و همکاران (Sherbinin, Carr, Cassels & Jiang, 2007) استدلال می‌کنند، علاقه به موضوع انطباق با تغییرات محیط‌زیستی به‌سرعت در حال گسترش است، اما نادیده گرفتن پویایی جمعیت شکاف قابل‌توجهی در توسعه و اجرای پروژه‌های سازگاری ایجاد می‌کند. در همین راستا، توجه مناسب به رشد، ترکیب و توزیع جمعیت که ساز و کار آن‌ها در پژوهش صادقی (Sadeghi,2023) بررسی گردید برای درک چگونگی توزیع آسیب‌پذیری محیط‌زیست در بین گروه‌های مختلف مردم حیاتی است (برای اطلاعات بیشتر به رساله دکتری Sadeghi, 2023 مراجعه شود).

در یک نتیجه‌گیری کلی، محیط‌زیست ایران در پارامترهای آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، گازهای گلخانه‌ای، منابع آب زیرزمینی، تنوع زیستی و فرسایش خاک از الگوی فضایی متفاوت حساسیت و قرار گرفتن در معرض آسیب‌پذیری برخوردار است که آزمون آماری گتیس نیز تأییدکننده الگوهای متفاوت فضایی آسیب‌پذیری خواهد بود. لذا در بستر توسعه اقتصادی و اجتماعی توجه به ابعاد آسیب‌پذیری و اولویت‌بندی شهرستان‌ها با توجه به درجه قرار گرفتن در معرض خطر و حساسیت می‌تواند تأثیر واقعی مؤلفه‌های مؤثر بر ظرفیت سازگاری [مانند پویایی جمعیت] را در بهبود عملکرد محیط‌زیست نشان دهد. در همین راستا سنجش ترکیبی

آسیب‌پذیری، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص سازی ترکیبی ابعاد محیط‌زیست با استفاده از روش‌های الگوریتمی تسلط تصادفی برای تعیین وزن ابعاد گوناگون در سنجش آسیب‌پذیری و تأکید بر نقش پویایی جمعیت در افزایش ظرفیت سازگاری محیط‌زیست از مهم‌ترین پیشنهادهای این پژوهش برای مطالعات آینده است.

تقدیر و تشکر: این مقاله مستخرج از رساله دکتری است که با حمایت دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه تهران تهیه شده است. از این دانشکده و دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abbasi Shavazi, M. J., & Sadeghi, H. A. (2022). The impact of population dynamics on environmental hazards and issues: A scoping review. *Environmental Management Hazards*, *9*(4), 325-339. [In Persian] http://dx.doi.org/10.22059/jhsci.2023.354442.763

Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, *24*(3), 347-364. https://doi.org/10.1191/030913200701540465

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268-281. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Ahmadi, M., & Darvish, D. (2022). Investigation of changes in air pollutants in major metropolises of Iran using the optical depth of satellite images. *Journal of Natural Environment*, *75*(1), 165-176. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jne.2022.338515.2387

Alwang, J., Siegel, P. B. & Jorgensen, S. L. (2001). *Vulnerability: a view from different disciplines*. Social Protection Discussion Papers Series, The World Bank, Washington DC.

Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., … & Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *96*(1), 69-83. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1

Azmi, A., & Motiee Langroudi, H. (2011). Review on Rural Environmental Problems in Iran and Solutions in Resolving These Problems. *Journal of Housing and Rural Environment*, *30*(133), 101-115. [In Persian] http://jhre.ir/article-1-20-fa.html

Bardsley, D. K., & Wiseman, N. D. (2012). Climate change vulnerability and social development for remote indigenous communities of South Australia. *Global Environmental Change*, *22*(3), 713-723. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.04.003

Bohle, H. G. (2001). Vulnerability and criticality: perspective from social geography. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. *Journal of Environmental Protection*, *2*(6), 3–5.

Carroll, M. C., Reid, N., & Smith, B. W. (2008). Location quotients versus spatial autocorrelation in identifying potential cluster regions. *The Annals of Regional Science*, *42*(2), 449-463. https://doi.org/10.1007/s00168-007-0163-1

Chambers, R. (1989). Vulnerability, Coping and Policy. *IDS Bulletin*, *20*(2), 1-7.

Chen, Z., Wang, L., Wei, A., Gao, J., Lu, Y., & Zhou, J. (2019). Land-use change from arable lands to orchards reduced soil erosion and increased nutrient loss in a small catchment. *Science of the Total Environment*, *648*, 1097-1104. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.141

Chudnovsky, A. A. (2021). *Monitoring Air Pollution in the Urban Environment by Remote Sensing*. Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis, and Modeling in the Urban Environment. https://doi.org/10.1002/9781119625865.ch18

Cunningham, A. B., Sharp, R. R., Hiebert, R., & James, G. (2003). Subsurface biofilm barriers for the containment and remediation of contaminated groundwater. *Bioremediation Journal*, *7*(3-4), 151-164. https://doi.org/10.1080/713607982

Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, *20*(4): 529-539. https://doi.org/10.1177/030913259602000407

De Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M. E., & De Bruin, S. (2012). Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change. *Global Change Biology*, *18*(2), 642-655. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02578.x

Diwediga, B., Le, Q. B., Agodzo, S. K., Tamene, L. D., & Wala, K. (2018). Modelling soil erosion response to sustainable landscape management scenarios in the Mo River Basin (Togo, West Africa). *Science of the Total Environment*, *625*, 1309-1320. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.228

Eskandari, S., Ahmadloo, F., Pourghasemi, H. R., Ahangaran, Y., & Rezapour, Z. (2023). Temporal and Spatial Analysis of the Relationship Between Climate Parameter Changes and Fire in the Forests and Rangelands in the Province of Gilan. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, *21*(1), 164-186. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.17350859.1402.21.1.10.1

Famiglietti, J. S., Lo, M., Ho, S. L., Bethune, J., Anderson, K. J., Syed, T. H., & Rodell, M. (2011). Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophysical Research Letters*, *38*(3). https://doi.org/10.1029/2010GL046442

Farokhnia, A., & Morid, S. (2014). Assessment of GRACE and GLDAS capabilities for estimation of water balance in large scale areas, a case study of Urmia Lake Watershed. *Iran-Water Resources Research*, *10*(1), 51-62. [In Persian] https://www.iwrr.ir/article_13418.html?lang=en

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, *140*, 23-35. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029

Forootan, E., Rietbroek, R., Kusche, J., Sharifi, M. A., Awange, J. L., Schmidt, M., ... & Famiglietti, J. (2014). Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data. *Remote Sensing of Environment*, *140*, 580-595. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.025

Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, *17*(2), 155-167. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002

Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, *16*(3), 293-303. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004

Getis, A. & Ord, J. K. (1996). Local spatial statistics: an overview. In P. Longley & M. Batty (eds) *Spatial analysis: Modelling in a GIS Environment*. Cambridge: Geoinformation International.

Ghajarnia, N., Liaghat, A., & Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, *158*, 50-65. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.010

Ghannadi, M. A., Shahri, M., & Moradi, A. (2022). Air pollution monitoring using Sentinel-5 (Case study: big industrial cities of Iran). *Environmental Sciences*, *20*(2), 81-98. [In Persian] https://doi.org/10.52547/envs.2022.1026

Guzmán, J. M., & de México, C. (2013). *The demography of adaptation to climate change*. G. Martine, & D. Schensul (Eds.). New York, London and Mexico City: UNFPA, IIED, and El Colegio de México. https://www.iied.org/g03554

Han, L., Zhou, W., Li, W., Meshesha, D. T., Li, L., & Zheng, M. (2015). Meteorological and urban landscape factors on severe air pollution in Beijing. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *65*(7), 782-787. https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1007220

Hinman, S. E. (2017). Comparing spatial distributions of infant mortality over time: Investigating the urban environment of Baltimore, Maryland in 1880 and 1920. *Applied Geography*, *86*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.015

IPCC. (2013). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In C. B. Field, V. M. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, ..., & P. M. Midgley (Eds.), A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: University Press Cambridge. http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3117.9529

Issazadeh, V., & Argany, M. (2021). Changes in Water Surface of Aquifers Using GRACE Satellite Data in the Google Earth Engine: A Study of the Urmia Lake Watershed From 2002 to 2017. *Town and Country Planning*, *13*(1), 193-214. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jtcp.2020.304748.670127

Jiao, J. J., Zhang, X., & Wang, X. (2015). Satellite-based estimates of groundwater depletion in the Badain Jaran Desert, China. *Scientific Reports*, 5(1), 8960. https://doi.org/10.1038/srep08960

Jones, R. N., & Preston, B. L. (2011). Adaptation and risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *2*(2), 296-308. https://doi.org/10.1002/wcc.97

Karimian, H., Li, Q., Li, C., Jin, L., Fan, J., & Li, Y. (2016). An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing. *Aerosol and Air Quality Research*, *16*(4), 1081-1092. https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.06.0424

Kirschbaum, D. B., Huffman, G. J., Adler, R. F., Braun, S., Garrett, K., Jones, E., ... & Zaitchik, B. F. (2017). NASA's remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *98*(6), 1169-1184. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00296.1

Kloog, I., Sorek-Hamer, M., Lyapustin, A., Coull, B., Wang, Y., Just, A. C., ... & Broday, D. M. (2015). Estimating daily PM2. 5 and PM10 across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data. *Atmospheric Environment*, *122*, 409-416. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.004

Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, *8*(2), 97-108. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003

Lee, M., & Diop, S. (2009). Millennium ecosystem assessment. An Assessment of Assessments: Findings of the Group of Experts Pursuant to UNGA Resolution 60/30, 1, 361.

Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. *Journal of Environmental Management*, 279, 111631. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111631

McCarthy, J. J. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 2). Cambridge University Press.

Mohammadi, S., Karimzadeh, H., Pourmanafi, S., & Soltani, S. (2018). Spatial and Temporal Evaluation of Soil Erosion using RUSLE model Landsat satellite image time series (Case Study: Menderjan, Isfahan). *Journal of Range and Watershed Managment*, *71*(3), 759-774. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.221162.1073

Moshayedi, Z., & Jahangir, M. H. (2021). Qualitative evaluation of surface water resources using satellite images in Seymareh dam reservoir. *Iranian journal of Ecohydrology*, *8*(4), 925-939. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ije.2021.328294.1530

Najafi, Z., Darvishsefat, A. A., Fatehi, P., & Attarod, P. (2020). Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran megacity. *Iranian Journal of Forest*, *12*(2), 257-270. [In Persian] http://www.ijf-isaforestry.ir/article_114056.html

Nie, W., Zaitchik, B. F., Rodell, M., Kumar, S. V., Arsenault, K. R., Li, B., & Getirana, A. (2019). Assimilating GRACE into a land surface model in the presence of an irrigation-induced groundwater trend. *Water Resources Research*, 55(12), 11274-11294. https://doi.org/10.1029/2019WR025363

Paul, C., Techen, A. K., Robinson, J. S., & Helming, K. (2019). Rebound effects in agricultural land and soil management: Review and analytical framework. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1054-1067. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.115

Proag, V. (2014) The concept of vulnerability and resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, 369-376. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6

Raispour, K. (2021). Evaluation of Spatiotemporal Column Particulate Matter Concentration (PM2.5) Due to Dust Events in Iran Using Data from NASAN / MERRA-2 Reanalysis Model. *Journal of the Earth and Space Physics*, *47*(2), 333-354. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.316499.1007273

Ramezani Khojeen, A., Kheirkhah Zarkesh, M. M., & Daneshkar Arasteh, P. (2016). Calculating and Calibrating Land Surface Temperature Using Landsat8 Thermal bands. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, *7*(3), 49-64. [In Persian] https://gisj.sbu.ac.ir/article_95869.html

Rannow, S., & Neubert, M. (2014). *Managing protected areas in central and eastern Europe under climate change*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0

Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: a literature review. *Biological Conservation*, *141*(10), 2417-2431. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, *461*(7263), 472-475. https://doi.org/10.1038/461472a

Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, *14*(4), 5768-5780. https://doi.org/10.3390/s140405768

sabziparvar, A. A., & Nazemosadat, M. J. (2016). Validation of Land surface Temperature (LST) from Landsat-5 and MODIS Images (Case study: Wheat fields of Marvdasht Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(4), 25-43. [In Persian] https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.8864.2260

Sadeghi, H. A. (2023). *Explanation of the spatial pattern of environmental degradation in Iran with emphasis on demographic and economic determinants*. Ph.D. thesis, University of Tehran. [In Persian]

Sadeghi, H. A., Azizi, A., & Sadeghi, R. (2022). The Impact of Gender Gaps on the Environmental Performance in Selected Countries. *Woman in Development & Politics*, *20*(3), 389-413. [In Persian] .https://doi.org/10.22059/jwdp.2022.339832.1008173

Sadeghi, H., Mohamadi Masiri, A., & mohammadi, S. (2022). Environmental Governance and Government Efficiency in Iran. *State Studies of Contemporary Iran*, *8*(2), 31-57. [In Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.27831914.1401.8.2.2.7

Saxena, P., & Naik, V. (2019). *Air pollution: sources, impacts and controls*. CAB International. https://doi.org/10.1079/9781786393890.0000

Schneising, O., Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., Burrows, J. P., Borsdorff, T., ... & Wunch, D. (2019). A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*, *12*(12), 6771-6802. https://doi.org/10.5194/amt-12-6771-2019

Segnon, A. C., Totin, E., Zougmoré, R. B., Lokossou, J. C., Thompson-Hall, M., Ofori, B. O., ... & Gordon, C. (2021). Differential household vulnerability to climatic and non-climatic stressors in semi-arid areas of Mali, West Africa. *Climate and Development*, *13*(8), 697-712. https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1855097

Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel-5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *11*(34), 1-16. [In Persian] https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813

Sherbinin, A. D., Carr, D., Cassels, S., & Jiang, L. (2007). Population and environment. *Annual Review Environment and Resources*, *32*(1), 345-373. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.041306.100243

Solomon, S. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge university press.

Tang, G., Clark, M. P., Papalexiou, S. M., Ma, Z., & Hong, Y. (2020). Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote sensing of environment*, *240*, 111697. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697

Teng, H., Rossel, R. A. V., Shi, Z., Behrens, T., Chappell, A., & Bui, E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*, *77*, 156-167. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.11.024

Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, *9*(3), 893-906. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.05.011

Torabi, F., Saravani, K., Sadeghi, H. A., & Jahanbazian, S. (2024). A comparative study of household vulnerability: A scoping review of the areas and measurement methods. *refahj*. *24*(94), 2. [In Persian] https://doi.org/10.32598/refahj.24.94.4424.1

Turner, B. S. (2015). *Vulnerability and human rights*. University Park, USA: Penn State University Press. https://doi.org/10.1515/9780271030449

Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., ... & Opfergelt, S. (2019). Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, *178*, 256-266. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024

Vogel, C., Susanne, C. M., Roger, E. K., & Geoffrey, D. D. (2012). *Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: pathways, players and partnerships1. In Integrating science and policy*. London :Routledge.

Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2014). Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, *145*, 55-67. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.003

Yoshida, Y., Ota, Y., Eguchi, N., Kikuchi, N., Nobuta, K., Tran, H., ... & Yokota, T. (2011). Retrieval algorithm for CO 2 and CH 4 column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite. *Atmospheric Measurement Techniques*, *4*(4), 717-734. https://doi.org/10.5194/amt-4-717-2011

Yuan, F., Wang, B., Shi, C., Cui, W., Zhao, C., Liu, Y., ... & Yang, X. (2018). Evaluation of hydrological utility of IMERG Final run V05 and TMPA 3B42V7 satellite precipitation products in the Yellow River source region, China. *Journal of Hydrology*, *567*, 696-711. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.045

Zabihi, M., Sadeghi, S. H., & Vafakhah, M. (2015). Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*, *7*(4), 442-457. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103089